



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. СЕРГО ОРДЖОНИКИДZE  
МГРИ-РГГРУ

На правах рукописи

**Гречухин Максим Николаевич**

**УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
УЛЬЗИТ В РИФТОГЕННОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ  
ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ**

Специальность: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных  
ископаемых, минерагения

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
профессор МГРИ-РГГРУ,  
доктор геолого-минералогических наук  
П.А. Игнатов

Москва – 2017

## Оглавление

|   |            |
|---|------------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>  | <b>3</b>   |
| <b>ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬЗИТ .....</b>               | <b>14</b>  |
| 1.1. <i>Краткая история изучения ураноносности Ульзитинской депрессии</i>                           | 15         |
| 1.2. <i>Очерк геологического строения .....</i>   | 16         |
| 1.2.1. <i>Позиция района месторождения Ульзит в региональных структурах Монголии .....</i>          | 16         |
| 1.2.2. <i>Краткая геологическая характеристика района Ульзитинской депрессии.....</i>               | 26         |
| 1.2.3. <i>Выводы .....</i>  | 34         |
| <b>ГЛАВА 2. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬЗИТ .....</b>        | <b>35</b>  |
| 2.1. <i>Стратиграфия рудовмещающей толщи.....</i>   | 37         |
| 2.2. <i>Литогенетические ассоциации .....</i>   | 47         |
| 2.3. <i>Корреляция разрезов и фациальные переходы .....</i>   | 56         |
| 2.4. <i>Выводы .....</i>  | 59         |
| <b>ГЛАВА 3. МОРФОЛОГИЯ РУДОНОСНЫХ ЗОН МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬЗИТ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ЛОКАЛИЗАЦИИ.....</b> | <b>60</b>  |
| 3.1. <i>Морфология рудных зон и основные рудоконтролирующие факторы</i>                             | 60         |
| 3.2. <i>Признаки вторичных изменений.....</i>   | 70         |
| 3.3. <i>Признаки структурных деформаций и их связь с оруденением .....</i>                          | 78         |
| 3.4. <i>Выводы .....</i>  | 85         |
| <b>ГЛАВА 4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ УРАНОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬЗИТ .....</b>                         | <b>86</b>  |
| 4.1. <i>Минеральный и химический состав руд .....</i>   | 87         |
| 4.2. <i>Геохимические и радиогеохимические характеристики руд .....</i>                             | 93         |
| 4.3. <i>Формы урановой минерализации .....</i>  | 99         |
| 4.4. <i>Изотопный состав серы пиритов рудоносных отложений .....</i>                                | 113        |
| 4.5. <i>Остаточные углеводородные газы в рудовмещающих отложениях</i>                               | 116        |
| 4.6. <i>Предварительное изучение технологические свойств руд.....</i>                               | 123        |
| 4.7. <i>Выводы .....</i>  | 127        |
| <b>ГЛАВА 5. ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬЗИТ.....</b>  | <b>129</b> |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>   | <b>140</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>  | <b>145</b> |

## Введение

**Актуальность проблемы.** Возрастающая потребность в радиоактивном энергетическом сырье ставит актуальной задачей интенсификации поисковых работ в урановорудных провинциях мира. Наиболее приоритетными направлениями являются поиски и разведка инфильтрационных месторождений урана песчаникового типа. Технология их эксплуатации наиболее рентабельна и экологична способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), а извлекаемые руды находятся в самой низкой ценовой категории [39,129].

Последние два десятилетия ознаменовались открытием и разведкой нескольких гидрогенных месторождений урана песчаникового типа в Монголии [10,59,69,98,105,129]. Это позволяет стране стать полноправным потенциальным экспортёром радиоактивного сырья на мировой рынок с существенной разведанной ресурсной базой урана – 2% мировых запасов [129] и подготовить собственный ресурсный потенциал для планируемой в будущем атомной энергетики Монголии.

К числу недавно открытых относится инфильтрационное урановое месторождение Ульзит, выявленное в Восточно-Гобийском районе Монголии в 2011 году на основе авторского прогноза при проведении геологоразведочных работ в рамках совместного монгольско-российско-канадского проекта «Гурван-Сайхан» [19,22]. Определено геологическое строение месторождения, установлены вещественный состав и условия локализации руд, имеющие отличия от других гидрогенных месторождений урана в регионе [20,21,23,24,25,118]. Оригинальность тектонической позиции, состава и строения рудовмещающей толщи, закономерностей локализации рудных залежей и их характеристик позволяют отнести месторождение Ульзит к новой для Монголии разновидности инфильтрационных урановорудных объектов [19].

Регионы Монголии, Забайкалья и Северного Китая являются областями развития рифтогенных угленосных осадочных депрессий мелового возраста [16,17,30,42,60,77,113,117]. В артезианских бассейнах таких депрессий широко проявлены процессы переноса и накопления металлов, в том числе и урана, происходящих в условиях аридного климата [3,8,29,45,46,48,68,80,106,107 и др.]. В этой связи определение условий локализации руд Ульзита, как эталонного для региона месторождения, является актуальной задачей данной работы. Выявленные на участке Ульзитинского рудного поля закономерности позволяют реконструировать условия рудообразования и применить их при прогнозе и поисках однотипных промышленных объектов с дешевым и легко извлекаемым из недр ураном в сопредельных регионах Центральной Азии.

**Цель работы.** Целью работы является определение условий локализации, характеристик рудовмещающей толщи и вещественного состава урановых руд гидрогенного месторождения Ульзит в Монголии, как комплексной геологической основы для продолжения и оптимизации поисков и разведки новых рудных залежей на рудном поле месторождения, а также в других однотипных рифтогенных осадочных бассейнах Монголии и сопредельных государств.

Для достижения поставленной цели решались следующие **основные задачи работы:**

1. Анализ геотектонического положения рудного поля месторождения Ульзит в региональных структурах Монголии, как одного из решающих факторов формирования рудоносного осадочного артезианского бассейна и благоприятного для рудообразования гидродинамического режима;
2. Изучение литолого-фациальных характеристик рудовмещающей осадочной толщи прибортовой части Ульзитинской рифтогенной депрессии;

3. Выявление зон эпигенетического грунтово-пластового окисления и их связи с урановым оруденением;
4. Определение вещественного состава урановых руд месторождения Ульзит;
5. Предварительная оценка геотехнологических свойств руд месторождения Ульзит и возможности их добычи методом СПВ;
6. Реконструкция условий рудообразования на участке месторождения.

**Существо работы отражено в следующих защищаемых положениях:**

1. *Ураноносная Ульзитинская депрессия сформирована в зоне сочленения двух глубинных разломов – Главного Монгольского Линеамента и Восточно-Гобийского сдвига. Урановое месторождение Ульзит локализовано в тафрогенном бассейне, представляющим собой асимметричный грабен Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса и находится в наиболее сложном узле пересечения разнонаправленных тектонических нарушений, вблизи кристаллического обрамления, сложенного породами с радиогеохимической специализацией.*
2. *В разрезе рудовмещающих отложений месторождения Ульзит выделены манлайская и хухтэгская свиты нижнего мела и баянширинская свита верхнего мела. Осадочная толща сложена породами пестроцветно-красноцветной аллювиально-пролювиальной и сероцветной угленосной аллювиально-озерной литогенетическими ассоциациями и отличается резкими фаціальными переходами. Анализ керн опорных скважин и данных каротажа позволяет выделить маркирующие горизонты и поверхности, что служит надежной геологической основой для изучения закономерностей распространения стратиформного уранового оруденения.*

3. Роллоподобные и линзовидные урановые залежи залегают многоярусно и контролируются контрастной фациальной сменой грубообломочных пород конуса выноса глинисто-песчаными угленосными отложениями озерно-болотного бассейна. Наиболее продуктивные рудные тела месторождения Ульзит приурочены к выклиниванию фронта эпигенетического грунтово-пластового окисления, развивающегося субсогласно с контрастным фациальным замещением.
4. Урановые руды месторождения Ульзит представлены тонкодисперсными минералами  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$ , присутствующими как в кристаллической, так и в твердой гелеобразной форме. Основные рудные минералы – скупит, Са-фосфосиликат уранила и Р-содержащий коффинит. Вещественный состав руд месторождения благоприятен для извлечения урана способом СПВ.

**Фактический материал и методы исследования.** Фактической основой диссертации послужили результаты поисково-разведочных работ на уран, спроектированных и проведенных лично автором в пределах Ульзитинской депрессии в Сухэ-Баторском аймаге Монголии, в период полевых сезонов 2008-2012 гг., в рамках проекта СП «Гурван-Сайхан» за счет инвестора предприятия, канадской компании Denison Mines.

Основным методом этих работ являлось бурение керновых и бескерновых вертикальных скважин с попутным комплексом ГИС (интегральный гамма-каротаж, электро-каротаж и др.). Все виды геофизических исследований в скважинах выполнялись с помощью аппаратуры MGXII (Mount Sopris Instrument, USA) с дальнейшей авторской обработкой цифровых данных в различных программных пакетах (Gamlog, WellCad, RockWorks и др.). Буровые работы проводились на прогнозных участках, выделенных автором по данным линеаментного анализа космических спектрзональных снимков Landstat-7/ETM+, анализу

геологических карт масштаба 1:200 000 и 1:500 000, данным литогеохимии и авто-гамма-спектрометрической съемки.

Автором проинтерпретированы результаты ГИС по ~250 скважинам (~45 тыс.п.м) и изучено ~ 5000 м керна. Подготовлены и проанализированы разномасштабные геолого-прогнозные карты и геологические разрезы, на основе созданных слоев геолого-геофизической информации в программных продуктах ArcGIS, MapInfo, RockWorks и др. В процессе сбора первичной геологической информации проводилось литолого-фациальное расчленение осадочной толщи, картирование фронта эпигенетического окисления и урановорудных зон по керну и ГИС. Во всех скважинах проводились замеры статических уровней подземных вод, выполнено гидрогеохимическое опробование колодцев и родников на участке рудного поля, оборудовано 11 гидрогеологических скважин, где проведено предварительное изучение фильтрационных свойств рудоносных горизонтов методом опытных откачек и наливов.

На основе результатов разнопланового опробования (геофизическое, керновое, технологическое) выяснялись различные характеристики руд и рудовмещающих пород. В том числе: проинтерпретировано содержание урана в породах с шагом 0.1 м по стволам всех скважин на основе гамма-каротажа; проанализировано в различных лабораториях Монголии, России и Канады – ~800 проб на уран, торий и сопутствующие элементы методом ICP-MS (Actlabs Asia LLC, г.Улан-Батор); 148 проб на радий, торий и калий с целью выяснения радиологических свойств руд (ЦАЛ БФ «Сосновгеология» АО Урангео, г.Иркутск); 4 пробы на палинологический анализ для уточнения возраста рудовмещающих отложений (Геологический институт Академии Наук Монголии); 3 типичных образца руд изучены методом аналитической сканирующей электронной микроскопии (АСЭМ), в которых предварительно определен состав урановой минерализации (ИГЕМ РАН, г.Москва); в 8 образцах пиритов из угленосных отложений проанализирован изотопной состав серы (ЦНИГРИ, г.Москва); 32 пробы зерен кварца из рудовмещающих

отложений проанализированы на наличие радиационных дефектов для определения возраста рудообразования (ВИМС, г. Москва); для 5 образцов выполнен рентгенофазовый анализ и определены основные породообразующие минералы рудовмещающих отложений (МГРИ-РГГРУ, г.Москва); 20 образцов, отобранных из керна опорной глубокой скважины проанализированы на наличие глубоко сорбированных газовых углеводородов методом газовой хроматографии (МГРИ-РГГРУ, г.Москва); изучены физико-механические свойства рудовмещающих пород и их гранулометрический состав; проведен опыт статического сернокислотного выщелачивания урана из руд месторождения в лабораторных колоннах (Центральная геологическая лаборатория Монголии, г.Улан-Батор).

**Научная новизна работы** заключается в использовании широкого комплекса современных методов, включая дистанционные и геоинформационные технологии анализа геологической информации, полученной автором впервые в ходе проведенных им полевых и камеральных геологоразведочных работ на рудном поле месторождения Ульзит.

Впервые выявлена региональная геотектоническая позиция рудного поля месторождения, формирующая благоприятную обстановку для локализации урановых руд. Выявлена пространственная связь урановорудного поля и месторождения Ульзит с зоной континентального рифтогенеза и системой региональных и локальных тектонических нарушений.

Впервые, по данным бурения, установлены закономерности состава и строения рудовмещающей толщи угленосного осадочного бассейна мелового возраста в прибортовой части Ульзитинской депрессии в Восточно-Гобийском районе Монголии. Выделены пролювиально-делювиальные и аллювиально-озерные литогенетические комплексы. Впервые проведено расчленение осадочной толщи на три стратиграфических подразделения на участке месторождения. Установлена литолого-фациальная зональность аллювиально-пролювиальных отложений. На основе изучения керна и

интерпретации каротажа установлено ритмичное строение осадочной толщи и выделены маркирующие горизонты и поверхности.

Впервые проведено картирование рудоносных зон на участке месторождения Ульзит, установлена их морфология, параметры руд и их радиологические характеристики. Выявлено рудоконтролирующее значение контрастных литолого-фациальных замещений и эпигенетической окислительно-восстановительной геохимической зональности.

Получены первые данные о вещественном составе руд месторождения Ульзит. Современными прецизионными методами диагностики установлен оригинальный фазовый состав урановой минерализации и определено несколько форм ее нахождения в рудах.

Для подтверждения гипотезы о наличии дополнительных глубинных источников газовых восстановителей была апробирована методика анализа глубоко сорбированных газовых углеводородов, что для урановорудных месторождений Монголии применялось впервые.

На основе полученных данных впервые составлена генетическая схема рудообразования месторождения Ульзит.

**Практическая значимость.** Установленные автором закономерности формирования и строения рудовмещающей осадочной толщи, рудоконтролирующие факторы литолого-фациальной и эпигенетической окислительно-восстановительной зональности являются основой для продолжения систематических поисков и разведки новых урановорудных залежей на рудном поле месторождения Ульзит.

Предварительно диагностирован оригинальный вещественный состав урановых руд месторождения Ульзит. Выявленные формы урановой минерализации и результаты опыта лабораторного выщелачивания урана из руд месторождения Ульзит указывают на возможность высокой степени его извлечения с относительно низкими затратами.

Учитывая возможность извлечения урана высоко эффективным и экологичным способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ)

открытие и изучение месторождения несет вклад в становление собственной ресурсной базы радиоактивного энергетического сырья Монголии с учетом рациональных аспектов недропользования.

Выявленные закономерности формирования урановых руд месторождения Ульзит позволяют использовать модель рудообразования, как эталонную, для прогноза и поисков однотипных гидrogenных урановорудных месторождений в зонах рифтогенеза Монголии и центрально-азиатского региона, пригодных для добычи методом СПВ.

**Публикации и апробация диссертации.** Основные положения диссертации отражены в 8 печатных работах, в том числе в 1 авторском отчете о результатах геологоразведочных работ с подсчетом запасов, находящемся в геологических фондах Монголии, в 3 статьях реферируемых журналов ВАК России, 1 статье в научно-отраслевом журнале Монголии («Хайгулчин») и 3 опубликованных тезисах докладов на международных научно-практических конференциях.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на российских и международных научно-практических конференциях – XI международная конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2013 г.), Третий международный симпозиум «Уран: геология, ресурсы, производство» (Москва, 2013 г.), Exploration Roundup-2014 (Монголия, Улан-Батор, 2014), XII международная конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2015 г.).

**Структура и объем работы.** Диссертация объемом 158 страниц состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 87 рисунка, 15 таблиц и список литературы, включающий 131 наименований.

**Благодарности.** Автор выражает, прежде всего, глубокую признательность и исключительную благодарность своему научному руководителю, профессору МГРИ-РГГРУ, доктору г.-м.н. Петру Алексеевичу Игнатову. Только благодаря его многолетней поддержке, вниманию, опыту, инициативе, свежим идеям талантливого ученого, мудрого наставника,

чуткого товарища и терпеливого коллеги могла состояться эта работа, а также разноплановый научно-методический подход к совместному изучению вновь открытого месторождения Ульзит.

Автор с теплыми чувствами вспоминает свои первые шаги в производственной урановой геологии на начальной фазе изучения Ульзитинского потенциально ураноносного района Монголии в 1998-1999 гг. под руководством опытного геолога-производственника Леонида Алексеевича Сининького и глубоко благодарен за переданный им опыт и уверенность в существование промышленных концентраций урана в изучаемом районе и всегда хранит добрую память о наставнике и коллеге.

Автор признателен руководству СП «Гурван-Сайхан» (Монголия) и компании Denison Mines (Канада, США) за предоставленную возможность использования геологических материалов и результатов геологоразведочных работ. В частности, Б.Бат-Очиру, директору СП «Гурван-Сайхан», Терри Вейтсу, руководителю проекта СП в 1994-2015 гг., директору по развитию компании IUC, Denison Mines Д.Самбалайбату, директору представительства компании IUC, Denison Mines в Монголии в 2001-2016 гг.

Кроме того, автор благодарен монгольским, российским, американским и канадским коллегам за совместную динамичную и результативную работу по изучению урановых месторождений Монголии. В частности А.А.Будунову, гл. геологу СП «Гурван-Сайхан» в 1994-2012 гг., С.С.Наумову, председателю совета руководителей концерна «Геологоразведка» в 1991-2001 гг., А.В.Рудченко, исп. дир. представительства концерна «Геологоразведка» в Монголии в 1994-2000 гг., Д.Бат-Эрдэнэ, директору СП «Гурван-Сайхан» в 1997-1999 гг., Л.Ганболду, геологу СП в 1998-2008 гг., Н.Мунхбаатару, гидрогеологу СП в 1997-2012 гг., Марку Маттисону, геологу компании IUC, Denison Mines в 1998-2015, М.Баттимуру, GIS менеджеру СП в 1996-2015 гг., геологам Д.Мунхзулу, В.Чулуун и другим коллегам.

Работа по исследованию минералогического состава руд месторождения Ульзит не могла состояться без помощи и участия ведущего сотрудника ИГЕМ РАН, доктора г.-м.н. Ольги Александровны Дойниковой, изучившей образцы руд методом электронной сканирующей микроскопии. Автор также искренне благодарен Ольге Александровне за ее значительный вклад в подготовку совместной статьи, позитивную критику модели рудообразования и конструктивное обсуждение полученных результатов.

В анализе стратиграфии осадочного разреза Ульзитинской депрессии значительную помощь оказал эксперт и ведущий научный сотрудник геологического института Академии Наук Монголии, доктор геол.-минер. наук Ж.Бадамгарав. Кроме того, при его поддержке, в лаборатории палеонтологического центра АН Монголии, был выполнен споро-пыльцевой анализ нижнемеловых отложений.

В части работы, отражающей радиологические свойства руд месторождения Ульзит, использован опыт статистического анализа и обработки лабораторных данных радиологических исследований выполненных при участии Владимира Константиновича Овсова, гл. геофизика СП «Гурван-Сайхан» (1994-2005 гг.). Многолетний опыт работы Владимира Константиновича на урановых объектах Забайкалья, Монголии и Ср.Азии исключительно помог в предварительной оценке радиологических свойств руд месторождения Ульзит, а профессиональное и личное общение всегда доставляло удовольствие.

Автор крайне признателен профессору МГРИ-РГГРУ, доктору т.н. Владимиру Сергеевичу Лебедеву за возможность совместной работы, использование методической и аппаратной базы для изучения глубокосорбированных газов методом газовой хроматографии.

Кроме того, автор благодарен доктору г.-м.н. С.Г. Кряжеву, любезно выполнившему анализы изотопии серы пиритов из нижнемеловых рудовмещающих отложений месторождения Ульзит; доктору г.-м.н. Л.Т.Ракову, на аппаратно-методической базе которого бы проведен

предварительный геохронологический анализ урановых руд месторождения методом радиационных дефектов в кварце; кандидату т.н. М.Ю.Гурвичу за помощь в проведении рентгенофазового анализа рудовмещающих отложений и кандидату г.-м.н. В.А.Рассулову, выполнившему определение форм 6-ти валентной урановой минерализации методом лазерной люминесцентной спектроскопии.

Автор также признателен сотрудникам и преподавателям МГРИ-РГГРУ за их всестороннюю организационную поддержку при подготовке диссертации, прежде всего, директору института геологии минеральных ресурсов, профессору, доктору г.-м.н. А.А. Верчебе. Также, заместителю директора института геологии минеральных ресурсов О.В. Каржевой, главному специалисту отдела подготовки научно-педагогических кадров Г.А.Копыловой, сотрудникам кафедры геологии полезных ископаемых МГРИ-РГГРУ М.С.Ходне и кандидату г.-м.н. Н.Р.Зарипову.

## Глава 1. Общие черты геологического строения района месторождения Ульзит

Гидрогенное урановорудное месторождение Ульзит расположено в Восточно-Гобийском районе Монголии, в ~ 500 км к юго-востоку от столицы, г.Улан-Батор. Месторождение локализовано в пределах одноименной Ульзитинской рифтогенной грабен-синклинальной структуры, одной из крупнейших поздне-мезозойских депрессий Восточно-Гобийского района Монголии. Урановая минерализация заключена в нижнемеловых угленосных отложениях ее прибортовой части.

В формировании обширного осадочного бассейна значительную роль следует отнести геодинамическому развитию региона, определившему оригинальную геотектоническую позицию района, благоприятные факторы осадконакопления и рудообразования.

Структурные взаимоотношения изучаемого района были учтены на стадии прогноза и поисков, что способствовало открытию и изучению нового урановорудного месторождения Монголии.

Данные, представленные в этой главе, положены в обоснование первого защищаемого положения – *«Ураноносная Ульзитинская депрессия сформирована в зоне сочленения двух глубинных разломов – Главного Монгольского Линеамента и Восточно-Гобийского сдвига. Урановое месторождение Ульзит локализовано в тафрогенном бассейне, представляющим собой асимметричный грабен Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса и находится в наиболее сложном узле пересечения разнонаправленных тектонических нарушений, вблизи кристаллического обрамления, сложенного породами с радиогеохимической специализацией».*

## ***1.1. Краткая история изучения ураноносности Ульзитинской депрессии***

Историю изучения и проведения специализированных геологоразведочных работ на уран в пределах Ульзитинской депрессии условно можно разделить на три этапа, в соответствии с этапами изучения ураноносности Монголии в целом [69,98,105].

*Первый этап* берет начало в конце 40-х годов XX в., в рамках работ, проводимых Восточной геологической экспедицией Мингео СССР. Позднее, более масштабные специализированные наземные, аэрогеофизические и ревизионные работы проводились в 50-60 гг. под руководством С.Н. Кондакова [52]. На этом этапе был выявлен ряд обширных геохимических аномалий и зон, мелкие рудопроявления уран-угольного типа (Сульджур-Худук, Шанд-Булак), а также аномальная радиогеохимическая зона, приуроченная к окисленной кровле буроугольного пласта угольного месторождения Ульзит. Промышленного уранового экзогенного оруденения на этом этапе обнаружено не было, в основном из-за низкой плотности наблюдения и малой глубины изучения вмещающих осадочных толщ.

*Второй этап* (70-80 гг.) характеризуется масштабными комплексными региональными геолого-съемочными и аэрогеофизическими работами, выполнявшимися за счет госбюджета, в соответствии с межправительственным соглашением СССР и МНР, специалистами Монгольской геолого-съемочной экспедиции Министерства геологии СССР (МГСЭ) и научно-исследовательских институтов (ВИМС, ИГЕМ, ВСЕГЕИ, и др.). Этот этап характеризуется выявлением подавляющего большинства рудопроявлений и месторождений урана Монголии, а также выяснением закономерностей рудообразования и перспектив ураноносности региона. Был получен обширный фактический материал, в том числе достаточный для выделения Ульзитинской депрессии (отв. исполнители Кочкин Г.Б, Самович Д.А. и др.), как потенциально ураноносной области (*ПУО*), благоприятной для выявления промышленного оруденения инфильтрационного типа [61,78].

*Третий*, качественно новый этап специализированных работ на поиски гидрогенного урана в пределах Ульзитинской депрессии, начался в рамках монгольско-российско-американского проекта СП Гурван-Сайхан в 1996-1998 гг. (отв. исполнители Будунов А.А., Коковкин А.А., Сининький Л.А.). Были проведены региональные поисково-рекогносцировочные буровые работы, выделены перспективные направления поисков, бурением оценены ранее известные рудопроявления, создана прогнозная база для последующего изучения района. Масштабные поисковые работы бурением были продолжены в 2008-2012 гг. (отв. исп. Гречухин М.Н). На основе комплексного анализа геолого-геофизической информации и данных дистанционного зондирования было спрогнозировано и выявлено новое месторождение Ульзит гидрогенного типа, в центральной части депрессии, вблизи северо-западного обрамления. В дальнейшем предварительно проведено изучение рудоносных зон и условий их локализации, получены первые данные о вещественном составе руд, предварительно оценены геотехнологические свойства руд, на месторождении выполнена разведка и подсчет запасов [24].

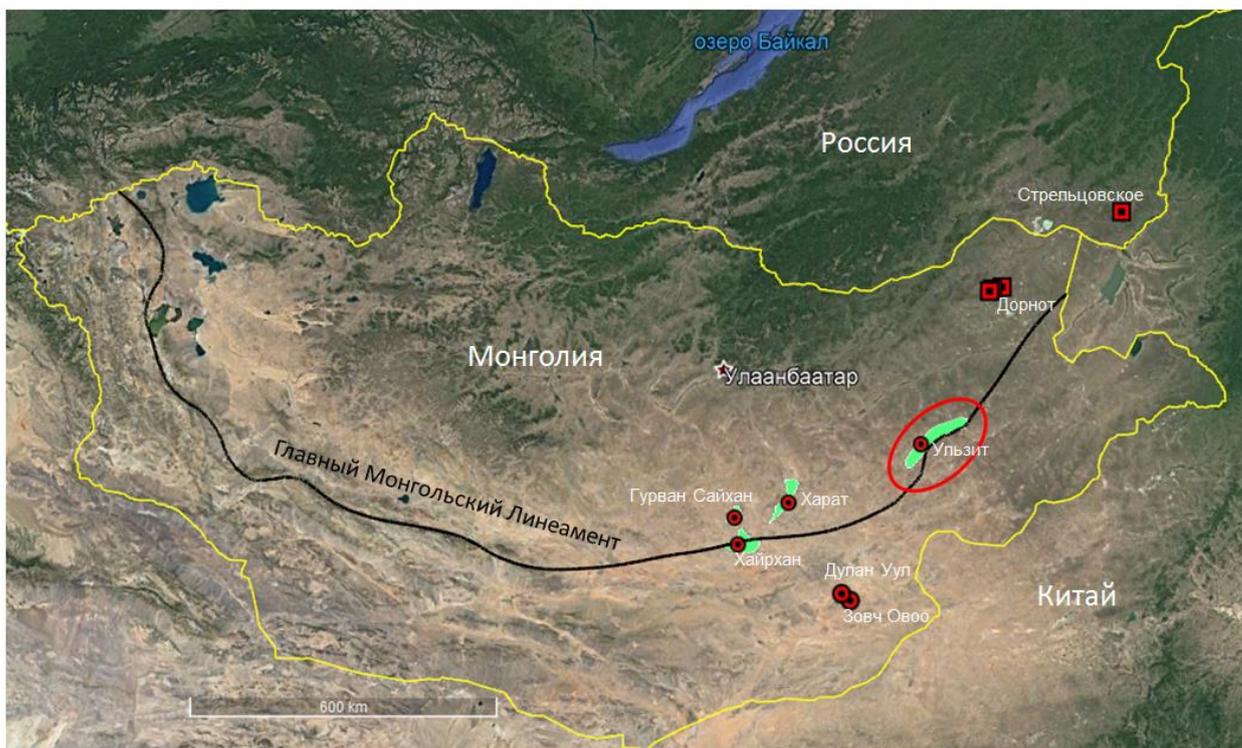
Следует отметить, что при прогнозе и поисках месторождения Ульзит, ввиду ограниченного бюджета на буровые работы и отрицательной результативности ранее применяемой методики поисков (систематическая оценка бурением регионального фронта эпигенетического окисления вдоль борта депрессии), на изучаемой площади впервые успешно применена методика локального прогноза, учитывающая данные структурного анализа.

## ***1.2. Очерк геологического строения***

### ***1.2.1. Позиция района месторождения Ульзит в региональных структурах Монголии***

Теоретической основой для оценки геотектоники и геодинамики региона служат современные понятия об эволюции Земли и, в частности, планетарных зон континентального рифтогенеза, к числу которых относится

территория Восточной Монголии и Забайкалья [43,51,65,66,77,93,101,112,121,126]. Региональная геологическая позиция региона широко освещена в литературе [11,14,16,17,30,49,77,90,92,96,103,107,122,131]. Район месторождения расположен в Восточно-Гобийском регионе Монголии и находится в зоне влияния глубинных разломов системы Главного Монгольского Линеамента (ГМЛ), выделенного Л.П.Зоненштайном [42], маркирующего дугообразный выступ на южной границе Восточно-Сибирской платформы. Большинство известных месторождений Монголии также пространственно связаны с этой региональной структурой (рис.1.1).



Месторождения урана

- Инфильтрационные
- Гидротермальные в ВТС

Рис.1.1. Схема расположения месторождений урана Монголии.

Протяженность ГМЛ в пределах территории Монголии составляет более 2000 км. Он прослеживается за ее пределами в западном (Иртышская зона смятия Алтая) и восточном (Западно-Хинганская зона) направлении при общей ее протяженности около 4000 км.

Современная тектоническая схема территории Монголии включает в себя 44 террейна [95,113,115,127,128]. На основе этой классификации район Ульзитинской депрессии входит в состав пограничной области террейна Идермег, что соответствует области пассивной континентальной окраины, сочленяющейся с узкой дугообразной островодужной зоной Их-Богдинского террейна (рис.1.2).

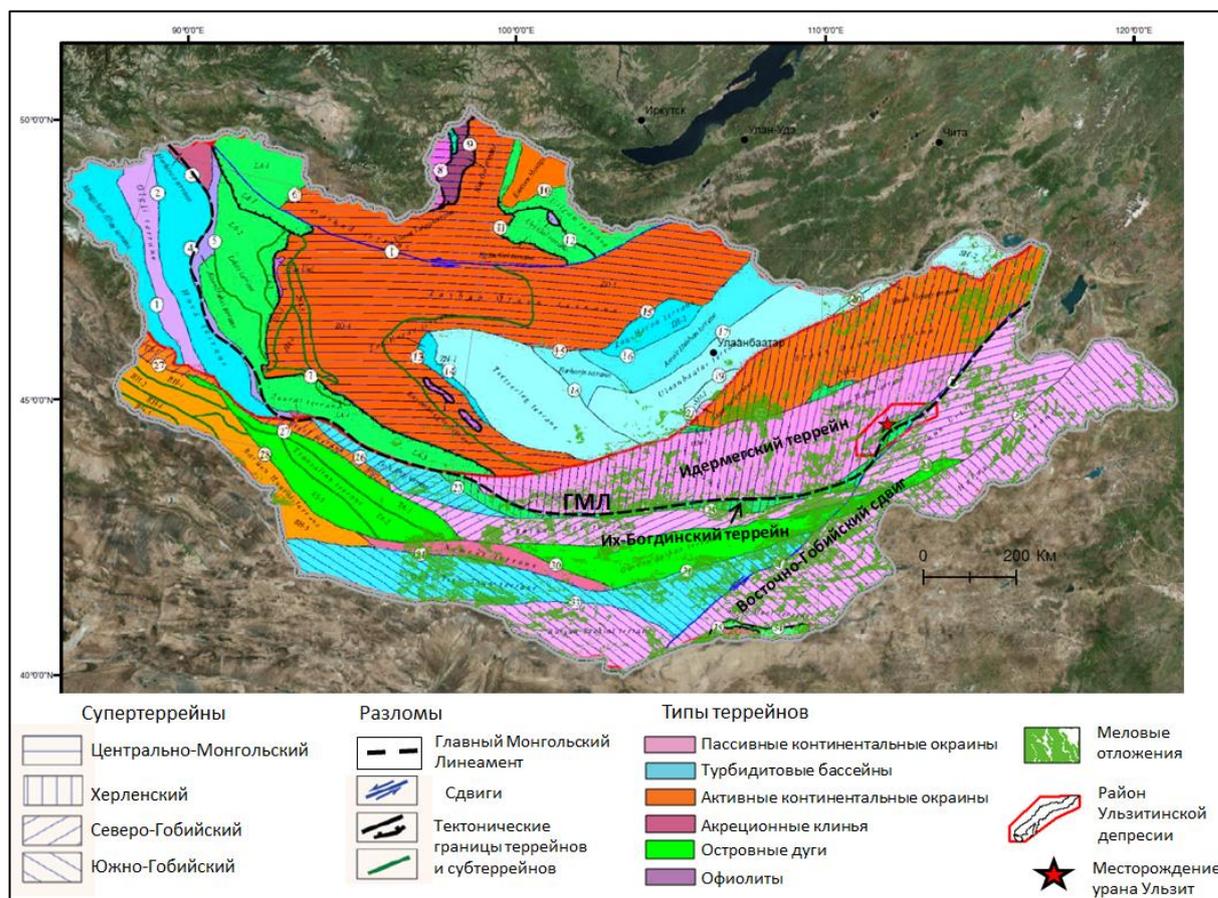


Рис.1.2. Позиция района Ульзитинской депрессии и месторождения Ульзит в региональных структурах Монголии, развитие меловых вулканогенно-осадочных и осадочных отложений на тектонической схеме Монголии (по О.Тумуртог, 2002 [95,116,127])

Традиционно зона ГМЛ определялась как граница раздела двух мегаблоков – северного каледонского и южного герцинского, сложенных преимущественно докембрийскими, ниже-палеозойскими и ниже-верхне-палеозойскими образованиями соответственно [17,42,49,96,103,131 и др.].

Система глубинных разломов ГМЛ, разграничивающая северный раннекембрийский и южный позднепалеозойский мегаблоки, включает Их-Богдинский, Ундуршилинский и Дэлгэрские разломы (рис.1.3).

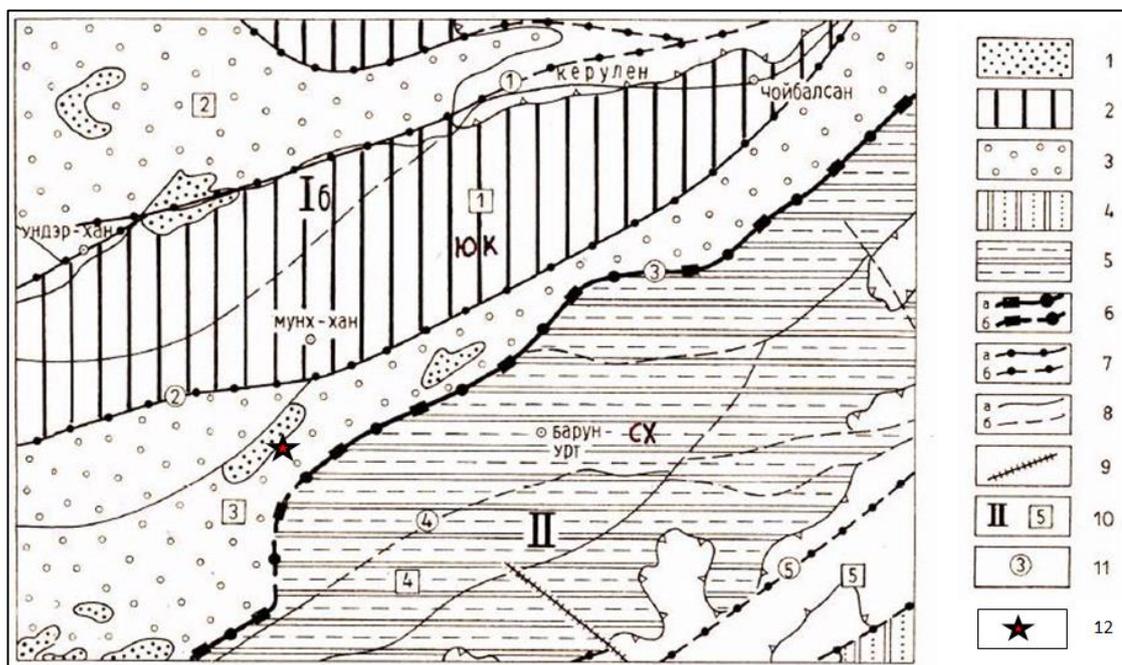


Рис.1.3. Общая тектоническая схема района (по Хасину Р.А. и др., 1980 [103])  
 1 – Фрагменты досреднерифейской континентальной коры. Области с раннепалеозойской континентальной корой (Сибирско-Монгольская): 2 –зоны с досреднерифейской континентальной корой; 3 –зона с кембрийским гранито-метаморфическим слоем. Области с позднепалеозойской континентальной корой (Южно-Монгольская): 4 – зоны с позднеордовикским гранито-метаморфическим слоем на интенсивно переработанной досреднерифейской континентальной коре; 5 – зоны с позднедевонским гранито-метаморфическим слоем на умеренно переработанном кембрийском гранито-метаморфическом слое; 6 – разделяющие области с континентальной корой различного возраста (а – достоверные, б – предполагаемые); 7 – разделяющие зоны с различным временем становления гранитно-метаморфического слоя (а – достоверные, б – предполагаемые); 8 –разломы (а – достоверные, б – предполагаемые); 9 – поперечные разломы; 10 – цифровые обозначения главных структур Iб Центрально-Монгольский сектор Монголо-Сибирской области: 1 – Средне-Гобийско-Керуленская зона с Южно-Керуленским блоком (ЮК), 2 – Муренгольская зона, 3 – Буренцогтинская зона. II – Южно-Монгольская область: 4 – Гоби-Алтайско-Сухэбаторская зона с Сухэбаторским блоком (СХ), 5 – Гоби-Хинганская зона. 11 – Цифры в кружках обозначают разломы: 1 – Керуленский, 2 – Буянтинский, 3 – Главный Монгольский Линеамент (сектор с Ундуршилинским разломом и Делгэрскими разломами), 4 –Асгатский, 5 – Нарынхидский. 12 – позиция месторождения Ульзит.

Ульзитинская эрозионно-тектоническая грабенообразная асимметричная структура, линейно вытянута в северо-восточном направлении на протяжении более 200 км расположена в зоне влияния

Делгэрской системы глубинных разломов, являющихся непосредственным северо-восточным продолжением ГМЛ. Из этого следует, что Ульзитинская депрессия находится в пограничной области между Центрально и Южно-Монгольской складчатыми системами. Границей между двумя системами служит Ундуршилинский и Делгэрский глубинные разломы, являющиеся составной частью ГМЛ. Они разделяют байкальский-раннекаледонский Северный блок от Южного, консолидированного в раннегерцинский этап (Рис.1.4).

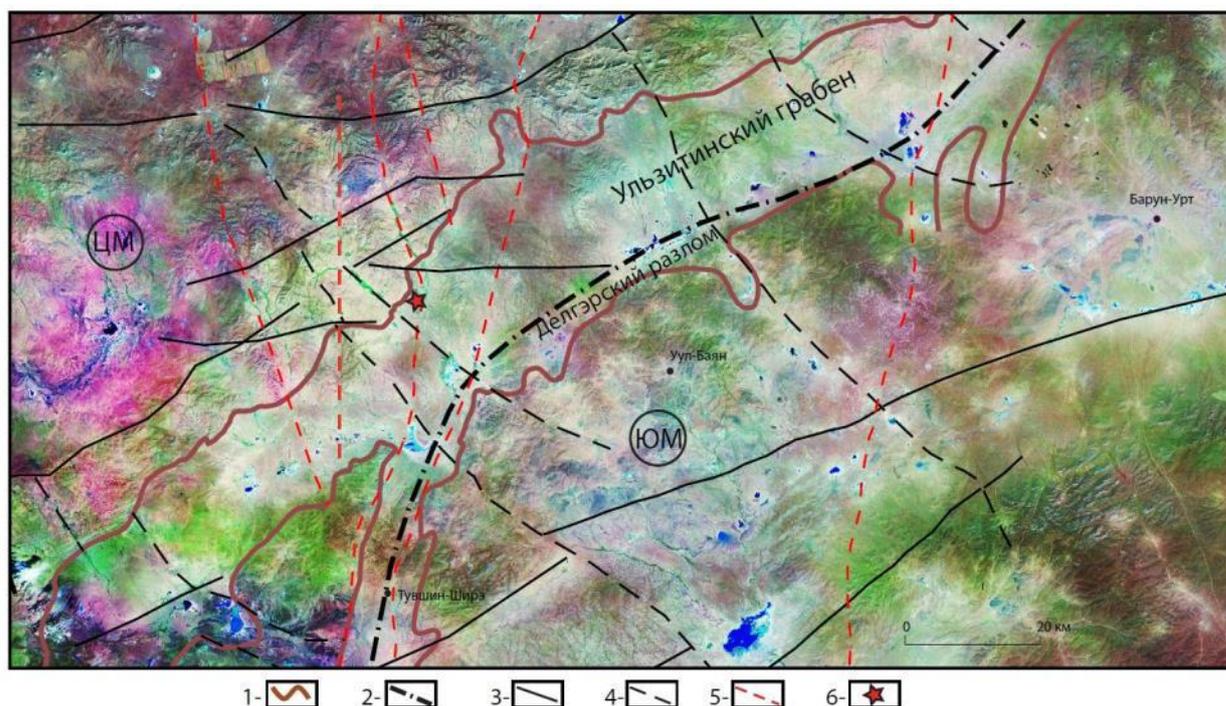


Рис. 1.4. Структурная схема района Ульзитинской депрессии (составлена с учетом данных Р. Зем и др., 1982) на основе линеamentного анализа данных дистанционного зондирования (цветная мозаика MrSIDN-49-45 на основе Landstat-7/ETM+) [22].

1 – граница Ульзитинского грабена и одноименной депрессии; 2 – Делгэрский разлом – тектоническая граница, разделяющая области с разновозрастной корой (ЦМ – северный мегаблок Центрально-Монгольской складчатой системы, консолидированный в раннекаледонский этап; ЮМ – южный мегаблок Южно-Монгольской складчатой системы, консолидированный в раннегерцинский этап); 3 – структуроформирующие сбросо-сдвиговые нарушения В и СВ простирания; 4 – поперечные взбросо-сдвиговые нарушения СЗ простирания, определяющие мозаично-блоковый структурный план; 5 – сквозные субмеридианальные тектонические зоны; 6 – месторождение Ульзит.

Центрально-Монгольская складчатая система с характерной мозаичной структурой сложена докембрийскими и нижнекембрийскими комплексами пород, смятыми в складки в байкальское и раннекаледонское время. Южно-Монгольская складчатая система характеризуется линейным строением. Она сложена комплексом геосинклинальных образований ордовикского-верхнедевонского или нижнекаменноугольного возраста. Северная часть Южно-Монгольской складчатой системы обозначается как Гобийско-Алтайская-Сухэбаторская зона. Делгэрский разлом северо-восточного простирания контролирует южное обрамление Ульзитинской депрессии и, по сути, является границей раздела двух региональных складчатых систем (рис.1.4).

Северная часть района (С-З обрамление Ульзитинской депрессии) является составной частью Южно-Керуленского блока. Буянтинский региональный разлом северо-восточного простирания разделяет блок на Среднегобийско-Керуленскую и Буренцогтинскую зоны [41]. Обе единицы относятся к Центрально-Монгольской секции Монголо-Сибирского района, характеризующегося континентальной корой, образованной в раннемезозойское время. Южная часть района (Ю-В обрамление Ульзитинской депрессии) относится к Гоби-Алтайско Сухэбаторской зоне, как части Южно-Монгольского района, характеризующегося континентальной корой, образованной в позднепалеозойское время.

Кроме того, Ульзитинская депрессия приурочена к зоне влияния пересечения региональных разломов – участку *ГМЛ* (Ундершилинский глубинный разлом) и участку Восточно-Гобийского левостороннего сдвига северо-восточного простирания (рис.1.2). Структурный план Ульзитинской депрессии определен узлом пересечения этим двух региональных структур.

Следует подчеркнуть структурно-геологические и металлогенические отличия Восточного и Западного регионов Монголии, особенно в мезозойском и кайнозойском геодинамическом развитии. Границей раздела двух регионов можно считать планетарную зону глубинного растяжения и

геосочленения меридионального направления (зона ВЕБИРС), выделенную Ю.В.Комаровым [51], проходящую через южный клинообразный выступ Сибирского кратона. Здесь простираются все структурные элементы Монголии резко меняется с северо-западного (Монголо-Алтайская система) на западе на северо-восточное (Эрэндабанско-Ононская система) на востоке. Мезозойские и кайнозойские отложения, плутоногенные и вулканогенные магматические образования Восточной и Западной Монголии имеют существенные отличия. В Восточной Монголии преобладают структуры тектоно-магматической активизации с широким развитием вулканогенных образований разного состава и гранитоидного магматизма [94,109]. Редкометалльные мезозойские массивы гранитоидов с аномальным радиогеохимическим фоном находятся только в восточной части территории Монголии, к востоку от меридиана  $103^{\circ}$  [2,61,68,76,92]. Интрузивный магматизм мезозойского возраста в Западной Монголии практически отсутствует. Меловые вулканогенно-осадочные и осадочные отложения, где проявлены эпигенетические процессы, формировавшиеся в условиях аридного климата наиболее развиты в Восточной и Южной Монголии, где их мощность достигает 3-4 км (рис.1.2) [60,117].

Район Ульзитинской депрессии входит в состав Восточно-Монгольского деструктированного мегасвода с геодинамическим режимом растяжения, в пределах которого тектоно-магматическая активизация распространялась на всю Восточную Монголию и сопредельную территорию Восточной Азии [4,14,103]. Как отмечено выше, разрезы мезозойских отложений Восточной Монголии более полные, вулканогенные и плутоногенные образования представлены гораздо шире. Такие структурно-формационные закономерности связывают с геодинамическим режимом развития региона, преобладанием горизонтальных косых сдвиговых деформаций при взаимодействии крупных литосферных блоков [42]. Это обусловило формирование региональной зоны с системой субпараллельных

горстов и грабенов, слагающих *Восточный Монголо-Забайкальский рифтовый пояс* (рис.1.5).

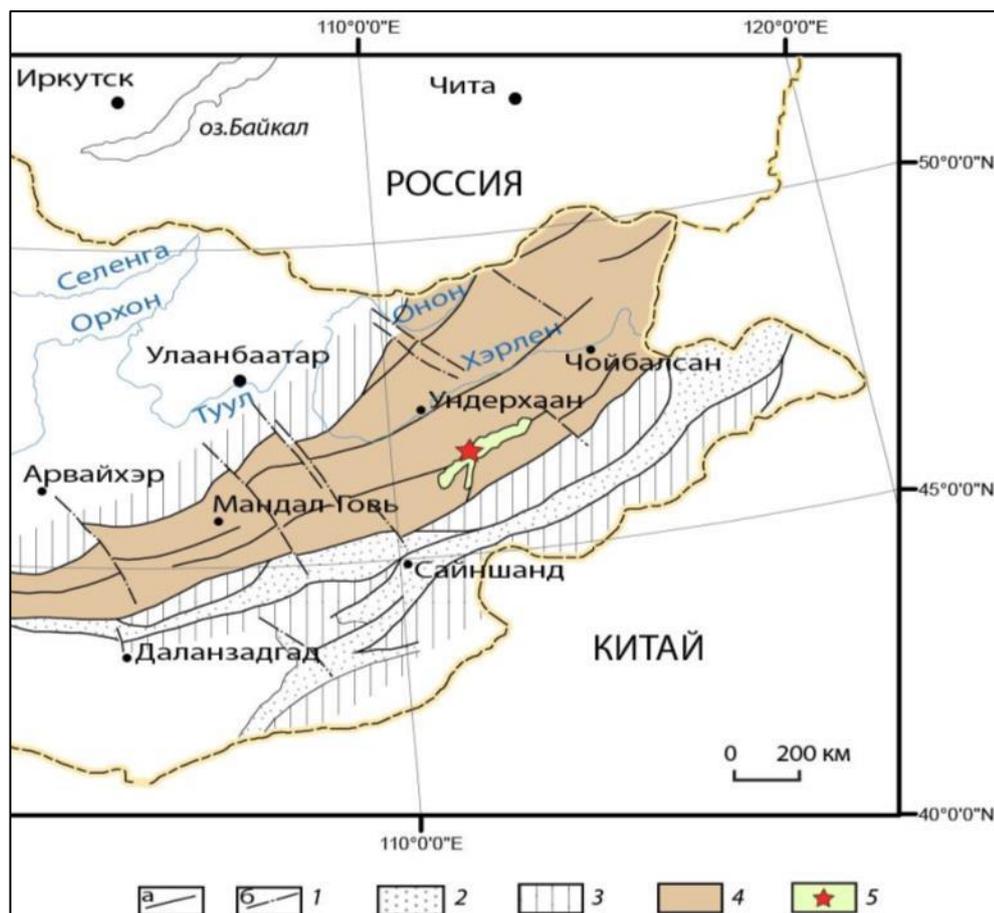


Рис. 1.5. Схема Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса и позиция Ульзитинской депрессии (составлена по материалам Филипповой И.Б., Хасина Р.А., Добролюбова В.А. [30,103]).

1 – разломы: а – осевые рифтовые, глубинные магмо- и флюидоподводящие, формирующие структурный план рифтового пояса, преимущественно С-В простирания, б – поперечные сдвиги; 2 – рифтовые зоны интенсивного прогибания и терригенного осадконакопления; 3 – краевые и внутририфтовые горстовые поднятия; 4 – зона растяжения с преобладанием вулканогенной и вулканогенно-осадочной формаций; 5 – Ульзитинская рифтогенная депрессия мелового возраста и район месторождения Ульзит.

*Восточный Монголо-Забайкальский рифтовый пояс* прослеживается в северо-восточном направлении через Восточную Монголию в Приаргунье [30,103]. Пояс состоит из серии грабенов и впадин шириной 25-75 км и длиной 75-200 км. Общая протяженность рифтового пояса в пределах Монголии составляет 2000 км, при максимальной ширине на северо-восток

550 км и минимальной около 100 км, на его юго-западном окончании. Южная и восточная часть пояса образована системой прогибов и впадин, выполненных сероцветной угле – и нефтеносной с ураном молассой поздней юры – раннего мела. Мощность терригенных отложений в бортах наиболее крупных депрессии не менее 2000 м и в их центральной части достигает 4 км.

Из этого следует, что район Ульзитинской депрессии входит в состав *Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса*. По аналогии с другими структурами этой зоны Ульзитинская депрессия является грабеном внутриконтинентальной зоны рифтогенеза в системе субпараллельных дугообразных асимметричных грабенов и горстов северо-восточного простирания (рис.1.5).

В работах Волчанской и др. [6,13] дается характеристика различным системам разрывных нарушений и подчеркивается их связь с металлогеническим обликом района. Выделяются куполообразные структуры (например Бурэнцогтинская структура) и обозначается их значение при формировании месторождений. Так, в зависимости от значения ортогональных и диагональных систем разломов и куполообразных структур ею выделяются два морфоструктурных типа рудных узлов:

- линейные структуры и их места скрещения, как рудоконтролирующие для флюоритовых, железорудных и сульфидных месторождений;
- куполообразные поднятия и кольцевые структуры, как рудоконтролирующие Sn-W и Cu-Mo месторождения в центральных и периферических их частях соответственно.

Несомненно, тектонические зоны играют важную роль и в формирования урановорудной минерализации [1,8,18,48,79,80,109].

Металлогения ряда полезных ископаемых, в том числе и урана, связывается с зонами континентального рифтогенеза [80,109,113]. Прослеживается пространственная связь между региональным структурным планом Монголии и ураноносностью [2,15,49,61,69,92,98,106,107]. Аномальный радиогеохимический фон с повышенными концентрациями

урана наиболее проявлен в Восточно- и Южно-Гобийском регионах, приурочен к *Восточному Монголо-Забайкальскому рифтовому поясу*, и глубинным разломам. Такая закономерность характерна и для района Ульзитинской депрессии (рис.1.6).

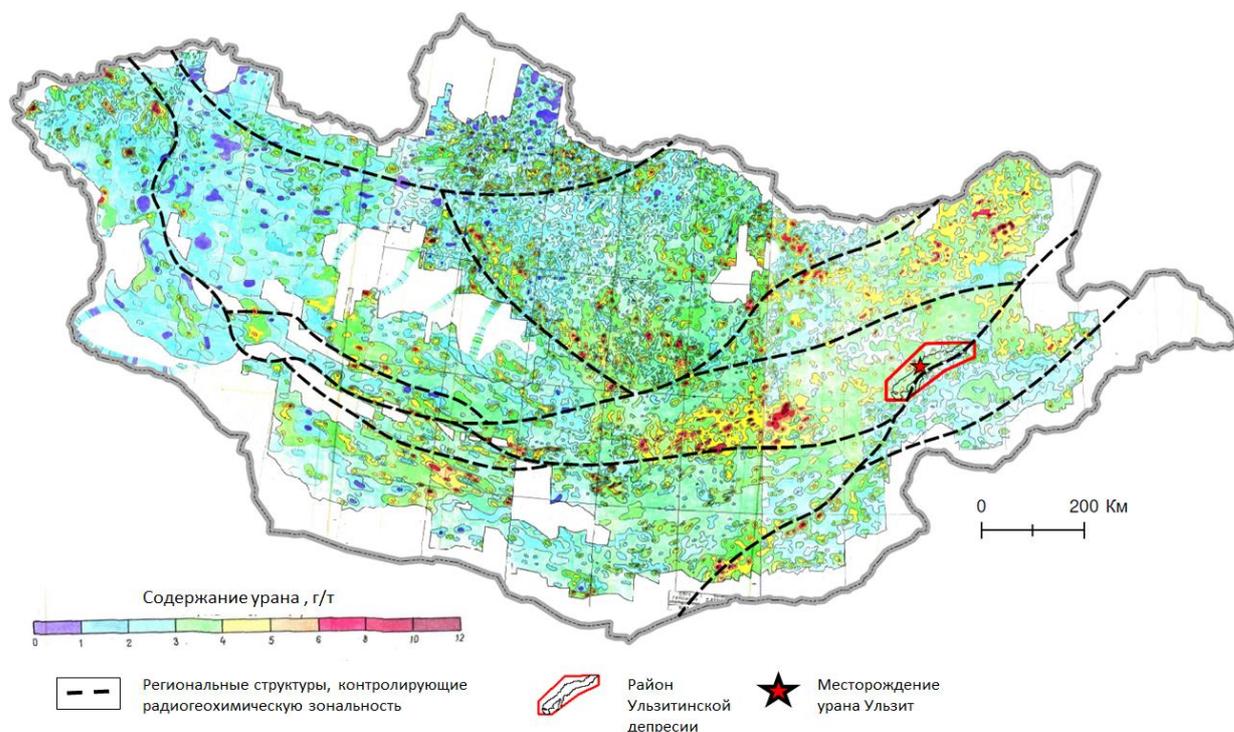


Рис.1.6. Позиция Ульзитинской депрессии и месторождения Ульзит на карте концентраций урана (по Высокоостровской Е.Б. и др., 1991) и региональных рудоконтролирующих структур Монголии.

В соответствии с закономерностью развития аномального радиогеохимического фона, известные рудопроявления и месторождения урана различного генезиса, в том числе и месторождение Ульзит, также приурочены к региональным структурам и соотносятся с геотектонической зональностью Монголии. Большинство урановых месторождений Монголии инфильтрационного (Харат, Хайрхан, Гурван-Сайхан, Ульзит) и гидротермального (Дорнот, Гурван-Булак, Нэмэр) «стрельцовского» типов, а также многочисленные рудопроявления локализованы в дугообразной зоне, соответствующей Центрально-Монгольской складчатой системе и Восточному Монголо-Забайкальскому рифтовому поясу (рис.1.7).

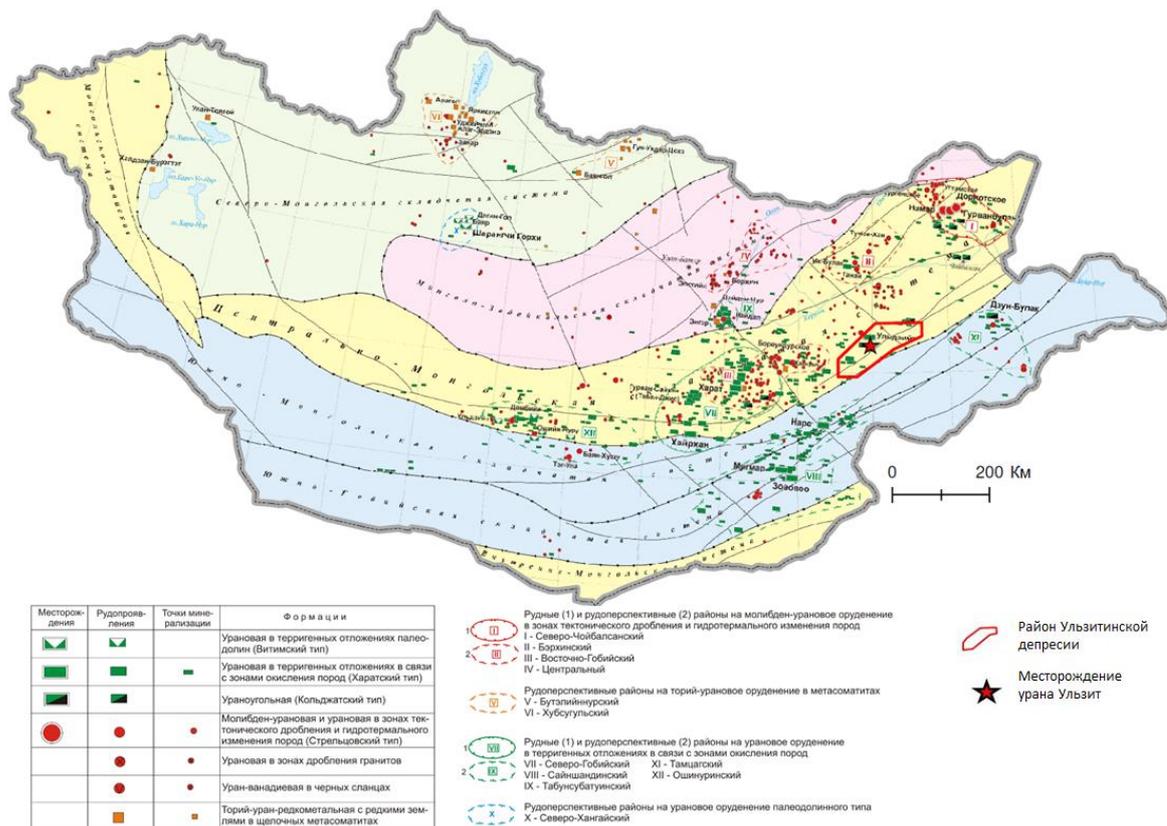


Рис.1.7. Позиция района месторождения Ульзит на карте ураноносности и складчатых систем Монголии (по Миронову Ю.Б., 2006).

### 1.2.2. Краткая геологическая характеристика района Ульзитинской депрессии

Ульзитинская депрессия, выполненная осадочными породами платформенного чехла, как отмечено выше, является одной из крупнейших депрессионных структур Восточной Гоби. Заложённая в нижнемеловое время на жестком кристаллическом фундаменте эрозионно-тектоническая грабен-синклиналичная структура в современном срезе характеризуется асимметричной формой, линейно вытянутой в северо-восточном направлении на протяжении более 200 км. Ширина депрессии по главным структуроформирующим элементам (кристаллическому обрамлению) изменяется незначительно и составляет от 15 до 27 км. Геоморфологически

ее контуры не всегда четко выражены – наблюдаются как уступообразные, так и плавные контакты с кристаллическим обрамлением (рис.1.7, 1.8).

В строении района Ульзитинской депрессии выделяются два структурных яруса. Нижний ярус включает комплекс складчатых образований докембрия и палеозоя сформировавших фундамент и *кристаллическое обрамление*. Верхний ярус представлен осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями мезо-кайнозоя, сформировавшихся в платформенных условиях и слагающих *осадочный чехол* депрессии.

*Кристаллическое обрамление* депрессии слагают метаморфические, интрузивные и эффузивные породы.

Наиболее древними образованиями являются блоки метаморфических пород протерозоя. Эти фрагменты древней континентальной коры развиты только в северном борту и образуют вытянутые в С-В направлении гряды протяжённостью до 40 км и шириной 5-10 км. Они представлены гранито-гнейсами, кристаллическими сланцами и маломощными горизонтами мраморизованных серых известняков.

В строении *кристаллического обрамления* преобладают интрузивные и эффузивные образования палеозоя и мезозоя. Породы гранитного состава (биотит-роговообманковые граниты, плагиограниты, гранодиориты, диориты, пегматиты) наиболее широко развиты в северном обрамлении, тогда как вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы пород имеют большее распространение в южном обрамлении депрессии (рис.1.8, 1.9).

Следует отметить, что наиболее молодые юрские интрузивные образования (граниты, грано-сиениты, пегматитовые граниты, пегматиты, аплиты), характеризующиеся повышенным радиогеохимическим фоном, развиты лишь в центральной части северного обрамления депрессии, в непосредственной близости от месторождения Ульзит и обширной аномальной радиогеохимической зоны [24,41,52,76]. Считается, что именно эти породы служат источником урана за счет его повышенного содержания.

Закономерности регионального размещения гранитоидов с повышенным радиогеохимическим фоном [2] согласуются с проявленностью гидрогенного уранообразования.

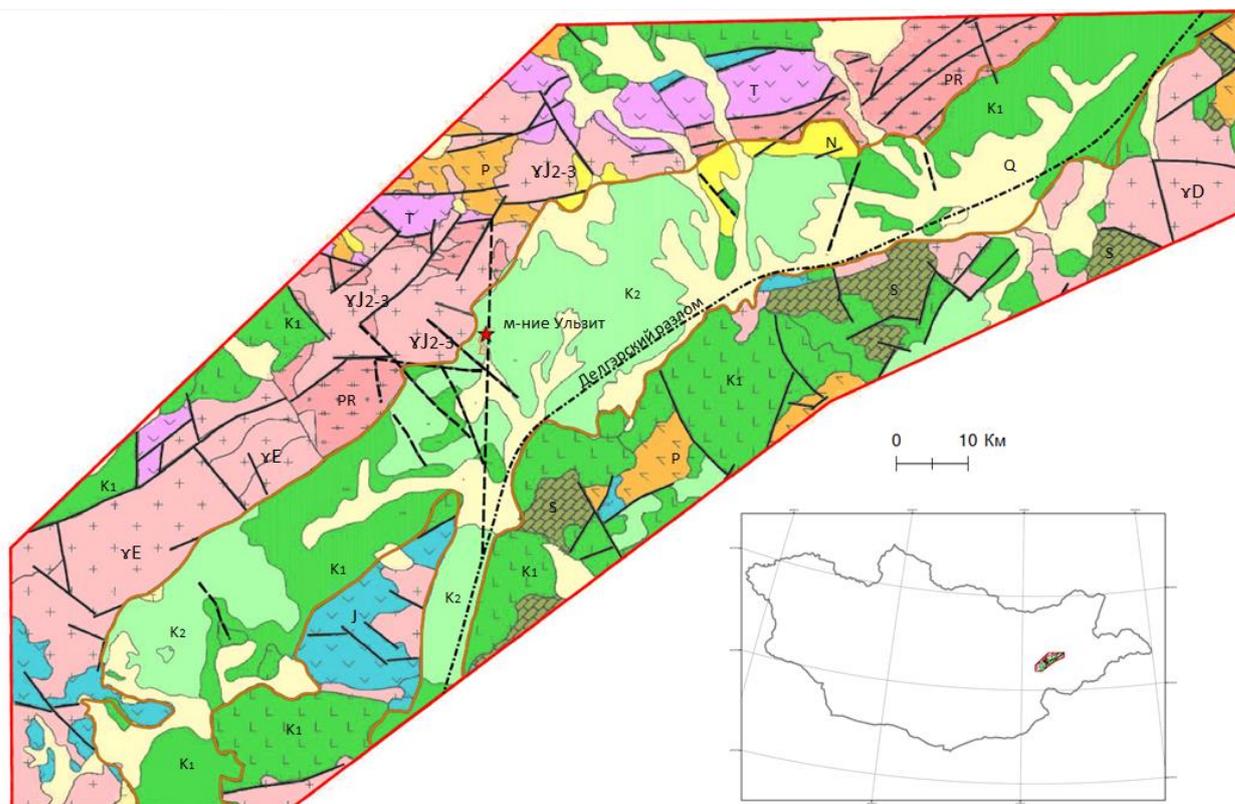
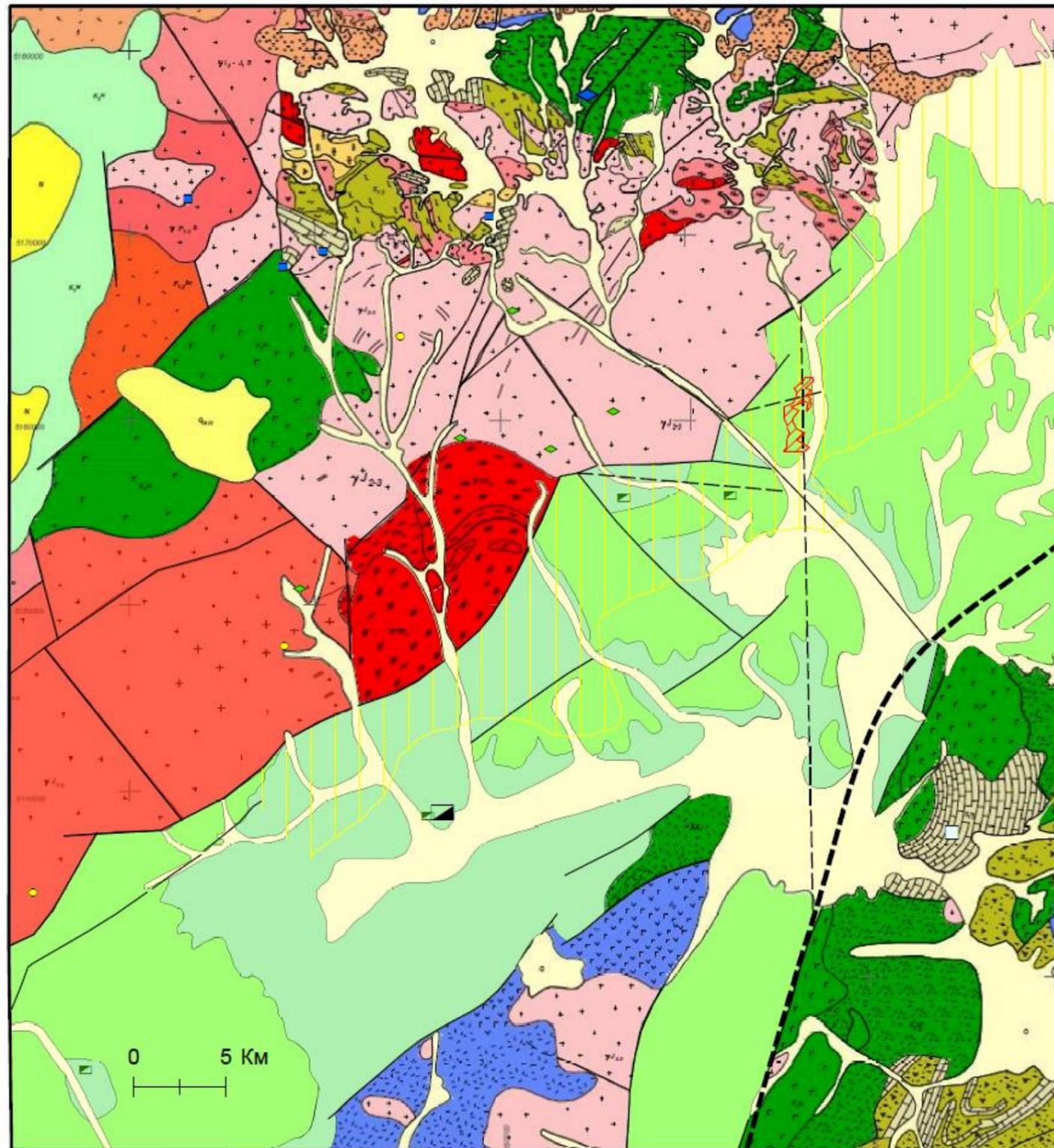


Рис.1.8. Обзорная геологическая карта района Ульзитинской депрессии (составлена Гречухиным М.Н., 2008 на основе государственной геологической карты Монголии масштаба 1:1000000 [76])

*Осадочный чехол* депрессии преимущественно сложен терригенными отложениями мелового и, в меньшей мере, палеоген-неогенового возраста (рис.1.8, 1.9).

Меловые отложения включают ниже-меловые и верхне-меловые континентальные образования. Изучению и стратиграфическому расчленению комплексов верхне-юрских и меловых отложений Юго-Восточной Монголии посвящено большое количество публикаций [5,17,39,58,60,81,94,104,117,120,123 и др.].



### Условные обозначения

- Четвертичная система**
- Q Современное звено. Глины, пески, супеси и суглинки, гравийники
  - Q<sub>III-IV</sub> Неоплейстоцен-голоцен. Озерные глины, галечники, супеси, глины
- Неогеновая система**
- N Песчаники, гравелиты, красноцветные глины
- Меловая система**
- K<sub>2bs</sub> Верхний отдел. Баянширинская свита - песчаники, гравелиты, конгломераты, валуно-глибовые отложения
  - K<sub>1ht</sub> Нижний отдел. Хухтэгская свита - песчаники сероцветные, алевроиты, алевролиты, углистые глины, бурый уголь
  - K<sub>1cc</sub> Нижний отдел. Чагаанцабская свита. Вулканогенно-осадочный комплекс - андезиты, базальты и их туфы, туфопесчаники, сланцы
- Юрская система**
- J<sub>2</sub> Средний отдел, нерасчлененный. Вулканогенно-осадочные образования - дациты, липариты, игнимбриты, туфы
- Пермская система**
- P<sub>1-2</sub> Бурэнцогская формация. Риолиты, риодациты, игнимбриты, андезиты, андези-дациты, окварцованные песчаники и алевролиты
- Силурийская система**
- S<sub>1,2</sub><sup>10</sup> Нижний-верхний отдел. Тувшинширинская формация - песчаники, известняки, вулканогенно-осадочные породы
  - S<sub>1,2</sub> Нерасчлененные образования. Песчаники, туфопесчаники, алевролиты, глинистые сланцы, кремнистые алевролиты, известняки, зафузивы и туфогенные породы
- Верхний протерозой**
- P<sub>1</sub><sup>10</sup> Гнейсы и кристаллические сланцы с линзами мраморов и амфиболитов, метаконгломераты, мигматиты
- Магматические и метаморфические образования**
- Средне-верхнеюрский комплекс**
    - γ<sub>J<sub>2</sub></sub><sup>10</sup> Граниты, м/з-с/з, с/з-к/з, порфириновые, биотитовые. Граносиениты, сиениты роговообманковые, пегматиты, аплиты
  - Верхнетриасовый-нижнеюрский комплекс**
    - γ<sub>T<sub>2</sub>-J<sub>1</sub></sub> Граниты, м/з-с/з, биотитовые, граносиениты роговообманково-биотитовые
  - Пермский комплекс**
    - γ<sub>P<sub>1-2</sub></sub> Бурэнцогский комплекс. Граниты, граносиениты, гранодиориты, диориты, монциты роговообманковые
  - Нижнепалеозойский комплекс**
    - γ<sub>PZ</sub> Граниты биотитовые, роговообманково-биотитовые, порфириновые, катаклазированные
  - Протерозойский комплекс**
    - γ<sub>PR</sub> Гнейсовидные граниты, гранито-гнейсы
- Петрографические обозначения**
- Конгломераты, гравелиты, песчанки, алевролиты
  - Туфогенные породы (туфопесчаники и т.д.) породы вулканогенно-осадочного происхождения
  - Известняки, карбонатные известняки
  - Сланцы, порфириновые-кварцевые-биотитовые, сланцы, окварцованные, окварцованные-кварцевые
  - Пегматиты, кристаллические сланцы, амфиболиты, мигматиты
  - Гранито-гнейсы
  - Липариты и их туфы, игнимбриты, туфы
  - Андезиты-базальты, базальты
  - Песчаники и галечники
  - Граниты
  - Диориты, кварцевые диориты
- Полезные ископаемые**
- Месторождения**
- Бурый уголь (м-ние Ульзит)
  - Вольфрам (м-ние Бурэнцогт)
- Рудопрооявления**
- Золото
  - Флюорит
  - Полиметаллы
  - Строительные материалы
- Уран**
- м-ние Ульзит
  - рудопрооявления эпигенетического типа
- Разломы**
- Достоверные
  - Предполагаемые
  - Делгэрский разлом системы ГМЛ
- Фронт грунто-пластового эпигенетического окисления, прослеженного бурением**

Рис.1.9. Геологическая карта центральной части Ульзитинской депрессии, масштаб 1:50000 (Составлена по материалам К.Зем и др.,1982 [41] и Гречухина М.Н, 2011 [24])

Исторически в *осадочном чехле* Ульзитинской депрессии, в отложениях нижне-мелового возраста, выделялись шарилинская (валанжин), цаганцабская (готерив-валанжин) и дзунбаянская (нижняя баррем-готерив, верхняя апт-альб) свиты. Позднее нижняя и верхняя подсвиты дзунбаянской свиты нижнего мела были выделены в самостоятельные стратиграфические единицы – шинхудацкая и хухтэгская свиты соответственно, а для отложений шарилинской и цаганцабской свит были скорректированы возрастные характеристики (титон-кимеридж и валанжин-титон соответственно) [58]. Кроме того, в нижне-меловых отложениях была выделена манлайская свита (валанжин), соответствующая верхам цаганцабской свиты.

При изучении разрезов *осадочного чехла*, в ходе поисковых работ на уран, нижне-меловые отложения нами принимались в объеме манлайской (валанжин) и хухтэгской (апт-альб) свит. Их характеристика приведена в *Главе 2* настоящей работы.

Среди нижне-меловых образований в *осадочном чехле* Ульзитинской депрессии наиболее распространены и представляют интерес, как основные рудовмещающие, отложения хухтэгской свиты (ранее фигурирующая, как дзунбаянская). Она представлена в низах разреза темно-серыми пиритизированными глинами, аргиллитами, глинистыми песчаниками и алевролитами. Ближе к северному борту депрессии – темно-серыми песчаниками с прослоями конгломератов. Темно-серый цвет обусловлен обогащением углефицированным органическим веществом. Верхняя часть разреза хухтэгской свиты характеризуется непостоянством литологического состава. В процессе аккумуляции осадков происходило накопление угленосных отложений в осевой части депрессии (угли, углистые глины), тогда как близ бортов накапливался грубозернистый материал обрушающихся поднятий. Грубообломочный состав типичен для конусов выноса с очевидным их накоплением вблизи поднятий, занимавших положение современного борта депрессии. Эти отложения получили

развитие вдоль северного борта депрессии, в её центральной части, суммарной мощностью 200-300 м. Наиболее масштабно угленосные отложения представлены в центральной части депрессии, где к их выходу на дневную поверхность приурочено бурогольное месторождение Ульзит, ранее эксплуатируемое небольшим карьером. В настоящее время оно не разрабатывается из-за радиоактивности углей, приуроченных к окисленной части кровли угленосного горизонта. Угленосный пласт фациально замещается углистыми глинами и не выдержан по простиранию. По направлению к северному борту разрез угленосной толщи сложен более крупнозернистыми породами с переходом в углистые алевролиты, алевритистые песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов, валунников из гранитов и гранито-гнейсов.

Верхнемеловые отложения развиты обширно в пределах депрессии и геоморфологически выражены как холмистые поднятия в осевой части и грядообразные участки в прибортовой части депрессии (рис.1.9). Представлены грубообломочными породами – конгломератами, галечниками, валунниками, крупноглыбовыми осадками с песчано-гравийно-галечным рыхлым заполнением. Накопление происходило в конусах выноса. По всей видимости они опоясывали поднятия, сформировавшиеся на границе раннего и позднего мела. Одно из таких конседиментационных поднятий находилось в центральной части северного обрамления, где сформирован верхнемеловой конус выноса. Его внешний контур контролирует урановую минерализацию месторождения Ульзит.

Палеоген-неогеновые отложения развиты в небольшой степени вдоль северного борта депрессии, в ее северо-восточной части и представлены конгломератами и валунниками с песчано-глинистым заполнением.

Четвертичные образования распространены повсеместно и представлены элювиально-делювиальными-пролювиальными отложениями мощностью в первые метры, а в осевой части впадины суглинками и глинами временных озер.

Согласно классификации инфильтрационных месторождений по типу артезианских бассейнов [110] район месторождения приурочен к малому артезианскому бассейну в грабен-синклинальной структуре, что подтверждено данными гидрогеологических наблюдений при проведении буровых работ, включая наличие самоизливающихся скважин.

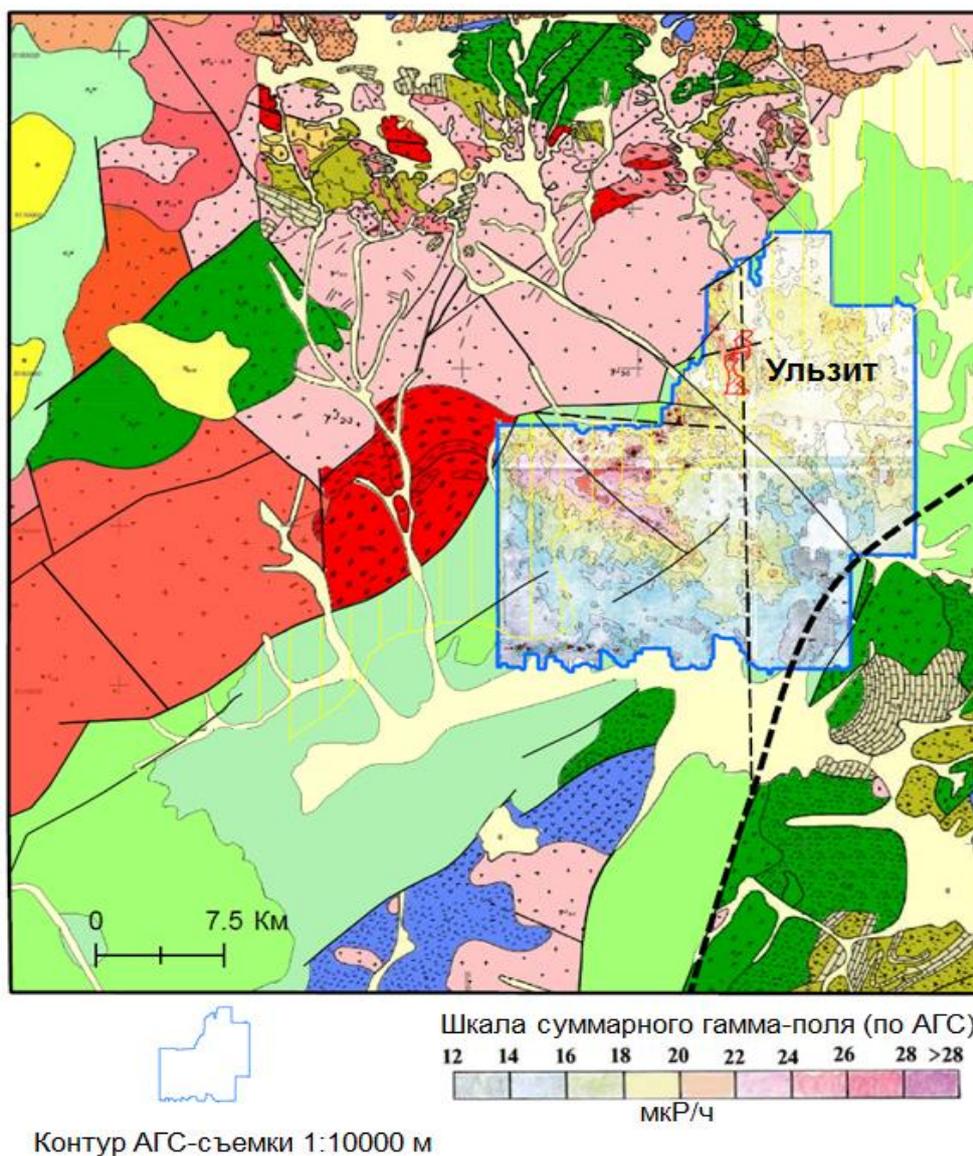


Рис.1.10. Карта суммарного гамма-поля (по данным авто-гамма-спектрометрической съемки масштаба 1:10000 м) на геологической карте центральной части Ульзитинской депрессии (условные обозначения к геологической карте см. рис.1.9)

Ульзитинская депрессия имеет мозаично-блоковое строение. В формировании структурного плана играют роль три основные системы тектонических нарушений (рис.1.4, 1.8-1.10):

➤ Структуроформирующие разломы северо-восточного простирания, согласующиеся с региональными структурами Юго-Восточной Монголии, которые представляются древними, долгоживущими и определившими формирование и асимметричную морфологию грабенообразной депрессии;

➤ Сквозные долгоживущие региональные тектонические зоны субмеридионального простирания;

➤ Более молодые поперечные разломы северо-западного простирания, обусловившие блоковое строение депрессии.

Трехлучевое сочленение тектонических зон контролирует аномальные ураноносные зоны развитые в центральной прибортовой части, вблизи кристаллического обрамления с повышенным радиогеохимическим фоном. Наиболее интенсивные радиогеохимические аномалии имеют линейный характер и развиваются вдоль тектонических нарушений (рис. 1.10).

Кроме урановой минерализации, *полезные ископаемые* района Ульзитинской депрессии представлены: залежами бурого угля небольшого месторождения Ульзит в осадочном чехле центральной части депрессии, которое не отрабатывается по геоэкологическим причинам; Буренцогским месторождением вольфрамита в северном обрамлении, известного с середины 40-х гг. XX вв., отработанным небольшой шахтой еще в 80-х гг.; небольшими рудопроявлениями золота, полиметаллов и флюорита, так же в северном обрамлении депрессии; строительными материалами и подземными водами (рис.1.9).

В последние годы в прессе появилась информация о работах, проводимых компанией Wolf Petroleum, включающие сейсморазведочные и региональные буровые работы по изучению потенциальной нефтеносности Ульзитинской депрессии. Однако результаты этих исследований неизвестны.

### 1.2.3. Выводы

Анализ региональной позиции и геологического строения района Ульзитинской депрессии позволяет сделать следующие выводы:

➤ Район исследований находится на границе двух мегаблоков – Центрально-Монгольского на севере и Южно-Монгольского на юге, консолидированных на каледонском и герцинском этапах соответственно и имеющие разные геодинамические характеристики. Границей раздела является система глубинных разломов Главного Монгольского Линеамента (*ГМЛ*).

➤ Ассиметричная форма и строение Ульзитинской депрессии определены региональными глубинными разломами, в первую очередь системой северо-восточных разломов *ГМЛ* и Восточно-Гобийского сдвига. Делгэрский разлом являясь фрагментом *ГМЛ* контролирует осевую часть и южное обрамление депрессии;

➤ Ульзитинская депрессия является рифтогенной и находится в зоне регионального растяжения, в системе Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса, где меловые континентальные, потенциально ураноносные отложения получили наибольшее распространение;

➤ Геодинамический режим, этапы тектоно-магматической активизации вдоль основных структурных зон определили пульсационный характер формирования горных поднятий в северном обрамлении депрессии и накопление благоприятных для гидрогенного рудообразования сероцветных угленосных отложений в глубоком уступообразном рифтогенном бассейне;

➤ Масштабная ураноносность Восточно- и Южно-Гобийских регионов Монголии, в том числе и района Ульзитинской депрессии соотносится с развитием Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса и контролируется региональными разломами;

➤ Месторождение Ульзит локализовано вблизи северного борта депрессии, сложенного наиболее молодыми интрузивными образованиями юрского возраста гранитного состава щелочной направленности, с повышенным радиогеохимическим фоном;

➤ Ураноносные зоны месторождения Ульзит контролируются зоной влияния трехлучевого сочленения разнонаправленных тектонических зон.

## **Глава 2. Строение и состав рудовмещающих меловых отложений месторождения Ульзит**

Стратиграфия и характеристика осадочных толщ мезозойских бассейнов Монголии отражены во многих публикациях [5,17,39,53,57,58,60,81,94,104,123 и др.] и, в основном, базировались на результатах работ совместной советско-монгольской геологической экспедиции. Значительный вклад в изучение мезозойских образований Восточно-Гобийского региона Монголии внесли российские и монгольские ученые – Ж. Бадамгарав, Н.А. Маринов, Г.Г. Мартинсон, М.С. Нагибина, Б.В. Полянский, И.Е. Турищев, П. Хосбаяр, Ю.Г. Цеховский, В.Ф. Шувалов и др.

Исторические данные о строении осадочного чехла Ульзитинской депрессии и сопредельных территорий отражены в [5,58,104,123] и в большей мере, в отчетах 1960-90 гг. о геолого-съёмочных и специализированных на уран геологоразведочных работах масштабов 1:200000 – 1:1000000 и крупнее (С.А. Кондаков, Г.Б. Кочкин, Д.А. Самович, К. Зем и др.) [41,52,61,79]. Именно в этот период были получены первые данные о геологическом строении осадочного бассейна и кристаллического обрамления депрессии. Однако, стратиграфическое расчленение и характеристика осадочных пород чехла базировались большей частью на поверхностном геологическом картировании, наблюдениях в единичных обнажениях, шурфах, канавах и отдельных скважинах глубиной 20-50 м.

Существенным вкладом в изучение Ульзитинского бассейна стали результаты специализированных поисковых буровых работ, проводимых в рамках совместного монгольско-американо-канадско-российского проекта «Гурван-Сайхан» в 1997-2012 гг. с целью выявления гидрогенных месторождений урана. При этом увеличилась глубина изучения осадочного разреза до 150-400 м, для анализа стал доступен керновый материал опорных картировочных скважин, а применение комплекса современной скважинной геофизической аппаратуры помогло сгустить плотность сети наблюдения за счёт большого объёма бескернового бурения [20,23,24].

Используемые данные о строении и составе прибортовой части Ульзитинской депрессии получены автором в процессе поисково-разведочных работ непосредственно на рудном поле эпигенетического уранового месторождения Ульзит. Именно в этой части осадочного бассейна проведена наиболее полноценная геологическая документация рудовмещающего разреза и его характеристик. Проанализированы разрезы по 27 опорным скважинам с хорошим выходом керна (около 3000 п.м), с сопоставительным анализом электрического и гамма-каротажа (около 25000 п.м.). На основе палинологических исследований образцов керна угленосной формации уточнены возрастные характеристики осадочной толщи.

Содержание данной главы легло в обоснование второго защищаемого положения диссертации – *«В разрезе рудовмещающих отложений месторождения Ульзит выделены манлайская и хухтэгская свиты нижнего мела и баянширинская свита верхнего мела. Осадочная толща сложена породами пестроцветно-красноцветной аллювиально-пролювиальной и сероцветной угленосной аллювиально-озерной литогенетическими ассоциациями и отличается резкими фаціальными переходами. Анализ керна опорных скважин и данных каротажа позволяет выделить маркирующие горизонты и поверхности, что служит надежной геологической основой для изучения закономерностей распространения стратиформного уранового оруденения».*

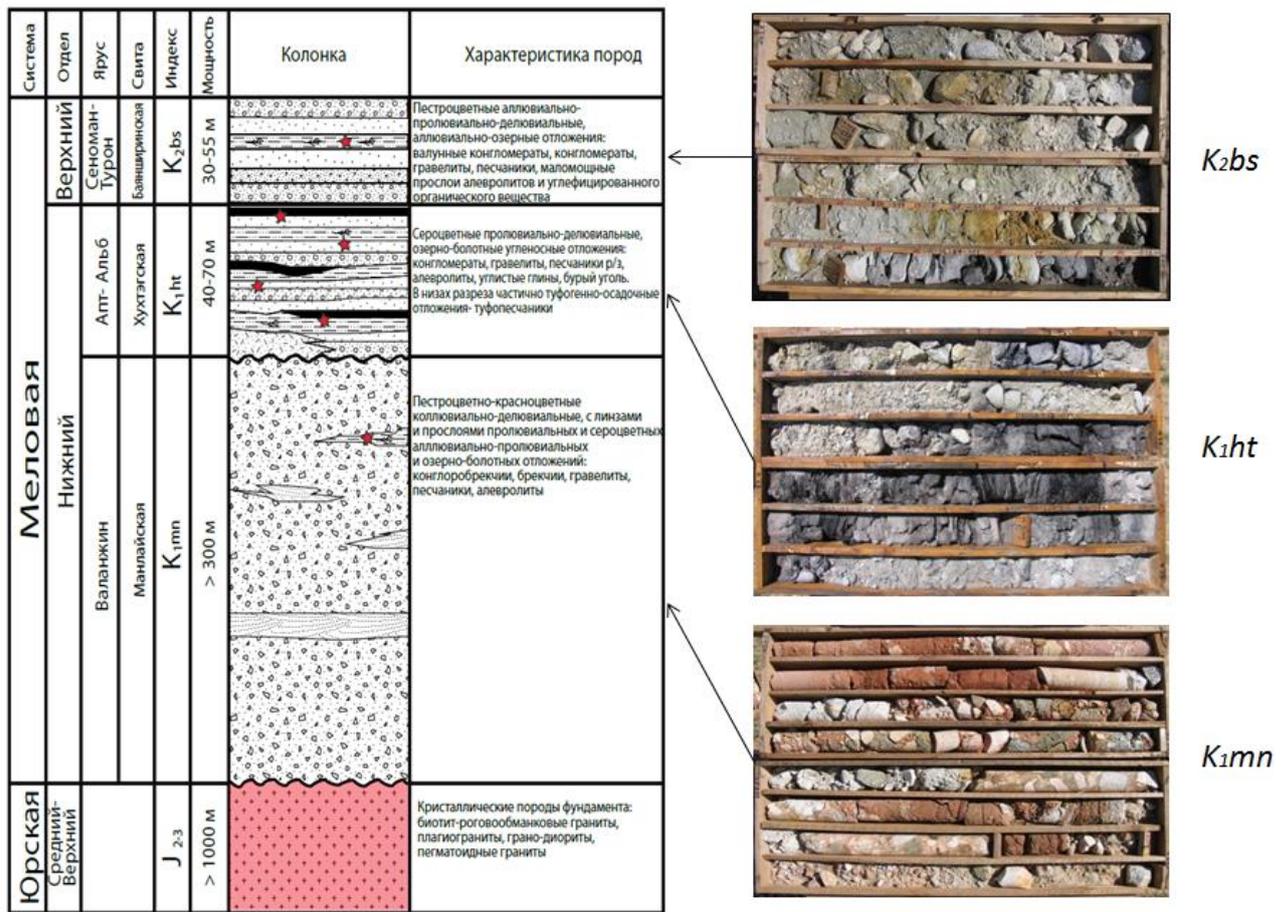
Ниже приведены результаты анализа литогенетического состава, ритмостратиграфического расчленения, корреляции и фациальной зональности континентальных меловых отложений краевой части Ульзитинской депрессии.

Как отмечено в предыдущей главе, Ульзитинская депрессия является грабен-синклинальной структурой внутриконтинентальной зоны рифтогенеза в системе субпараллельных дугообразных асимметричных грабенов и горстов Монголо-Забайкальского рифтового пояса северо-восточного простирания. Прерывистое пульсационное осадконакопление фэновых отложений происходило в континентальной обстановке на фоне тектонической активизации горного кристаллического обрамления бассейна в зоне растяжения на границе двух мегаблоков – Северного каледонского и Южного герцинского.

### ***2.1. Стратиграфия рудовмещающей толщи***

Осадочный чехол депрессии сложен терригенными слабо литифицированными отложениями нижнего и верхнего мела. Мощность осадочных пород составляет несколько сотен метров, предположительно достигает 1000 м и более в осевой и южной прибортовой частях впадины. Оценка мощности осадочного чехла базируется на максимальной глубине бурения на участке месторождения, равной 400 м и данных интерпретации электропрофилирования (ВЭЗ), выполненного в 70-е годы в рамках региональных геолого-съёмочных работ [78].

На площади Ульзитинского месторождения бурением вскрыты три толщи меловых отложений, залегающих несогласно на мезозойском гранитном фундаменте, которые отнесены соответственно снизу вверх к манлайской и хухтэгской свитам нижнего мела и баянширинской свите верхнего мела (рис.2.1) [23].



★ - Позиция уранового оруденения в разрезе осадочной толщи м-ния Ульзит

Рис. 2.1. Сводная стратиграфическая колонка рудовмещающих отложений месторождения Ульзит

Нижняя толща представляется прогрессивным (трансгрессивным) элементом. Среднюю толщу следует рассматривать в качестве нейтрального элемента разреза. Верхняя соответствует регрессивной части более крупного осадочного ритма. В каждой части имеется серия мегаритмов, которые в свою очередь сложены седиментационными ритмами.

Верхняя толща, K<sub>2bs</sub> (верхний мел, баянширинская свита, сеноман-коньяк) сложена преимущественно аллювиально-пролювиальными пестроцветными валунными и разногалечными конгломератами с прослоями красно- и пестроцветных песчаников и гравелитов. Обломки, как правило, гранитных пород округлые, реже угловато-округлые (рис.2.2). Мощность свиты достигает 55 м.



Рис. 2.2. Валунные конгломераты с песчано-глинистым цементом в низах разреза баянширинской свиты  $K_2bs$ , гл.~35 м

В составе свиты также установлена пачка сероцветных озерно-болотных и аллювиально-озерных отложений мощностью от 2–3 до 12 м с приуроченным к ней урановым оруденением. Степень углефикации органического вещества невысокая и отлична от буроугольных прослоев нижележащей хухтэгской свиты. В числе растительных остатков присутствуют фрагменты слабоуглефицированной древесины с частично сохраненной структурой (рис 2.3, 2.4).



Рис. 2.3. Углефицированные фрагменты древесины в сероцветном прослое баянширинской свиты  $K_2bs$ , гл.~25 м

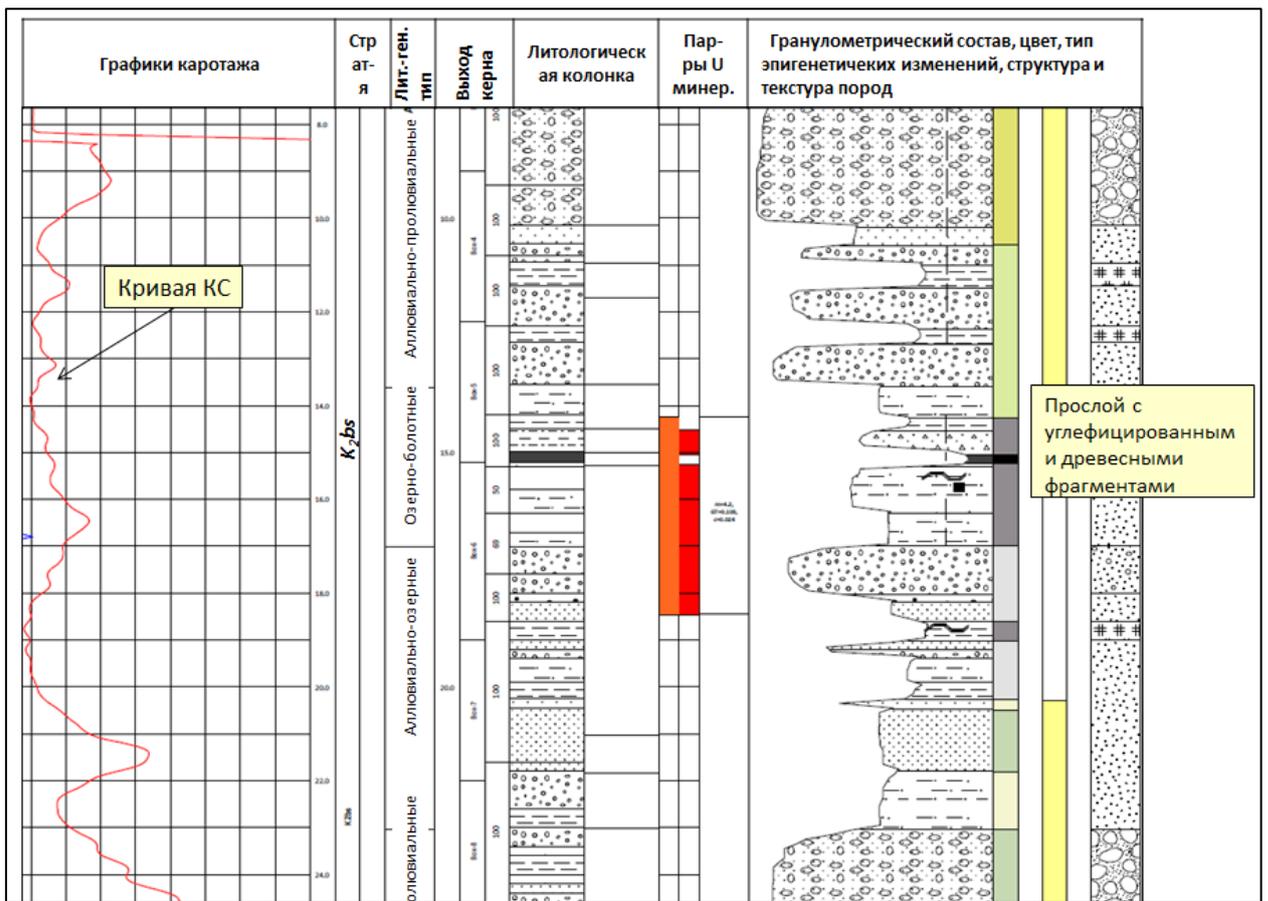


Рис. 2.4. Колонка документации скважины по разрезу баянширинской свиты  $K_2bs$ , гл. ~25 м

В некоторых разрезах встречаются линзы коллювиально-делювиальных конгло-брекчий. В единичных разрезах кроме округлых галек гранитных пород палеозоя отмечены окатанные гальки халцедонов из эффузивных пород юрского возраста (рис. 2.5).

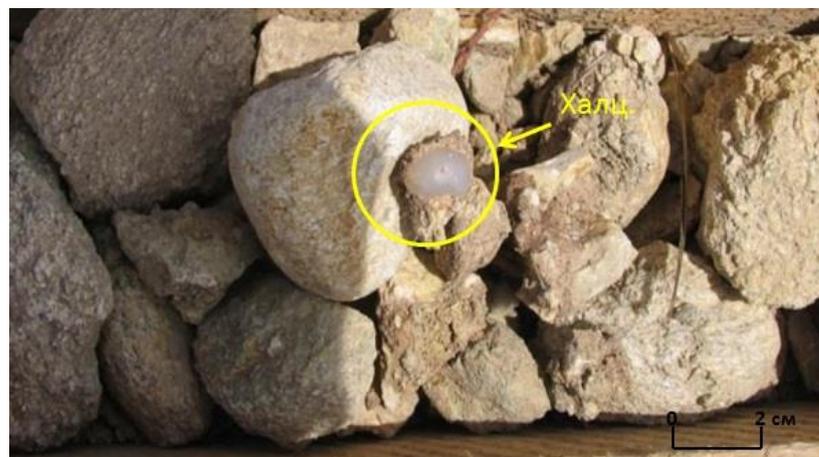


Рис. 2.5. Округлая галька халцедона в конгломератах баянширинской свиты  $K_2bs$ , гл. 29.5 м

Породы, слагающие баянширинскую свиту, выходят на дневную поверхность на западном фланге месторождения. В современном рельефе выходы грубообломочных пород этой свиты образуют террасу с дугообразным уступом радиусом  $\sim 4$  км, оконтуривающим кристаллическое обрамление Ульзитинской впадины. Представляется, что эта терраса является конусом выноса и остаточной формой наземной дельты палеореки, унаследованное сухое русло которой проходит по северо-западной долине р. Олонгийн Гол.

*Средняя толща,  $K_1ht$*  (нижний мел, хухтэгская свита, апт-альб). В более ранних работах по стратиграфическому расчленению меловых образований данного региона эти отложения выделялись как верхняя подсвита дзунбаянской свиты нижнего мела  $K_1dz$  [58]. Толща сложена преимущественно сероцветными песчаниками и алевролитами со слоями гравелитов, аргиллитов и углей озёрного происхождения и содержит прослои и линзы аллювиально-пролювиальных и пролювиальных конгломератов, включая отложения грязекаменных потоков (рис.2.6). Общая мощность свиты 44–50 м.



Рис. 2.6. Типичные сероцветные угленосные рудовмещающие отложения хухтэгской свиты  $K_1ht$ , гл. 70-75 м.

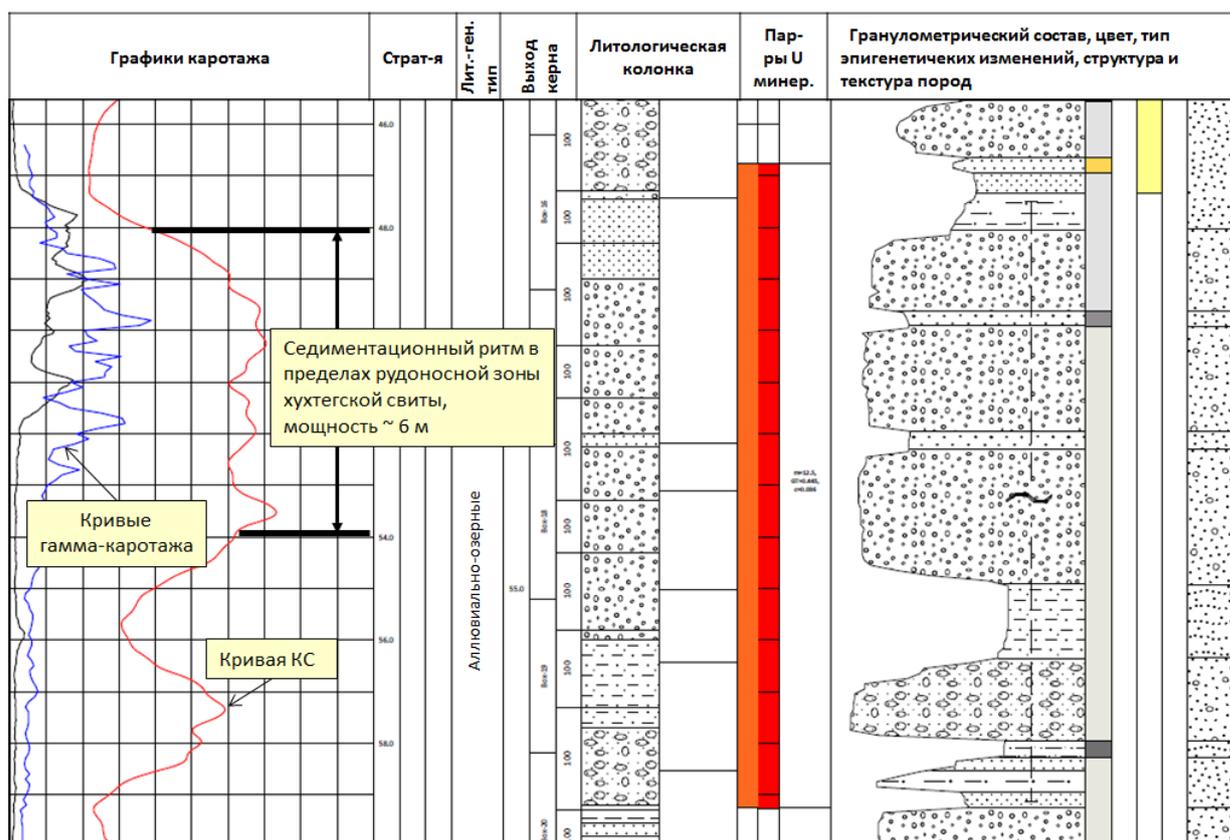


Рис. 2.7. Ритмичное строение рудовмещающей толщи хухтэгской свиты *K<sub>1</sub>ht*.

В её составе выделяется от трех до пяти седиментационных ритмов (рис. 2.7). Нижнюю часть ритмов слагают гравелиты и песчаники, верхнюю – песчаники, алевропесчаники, алевролиты и аргиллиты, содержащие от 1-2 до 10-12 прослоев бурого угля мощностью до 1 м. В этой части разреза встречаются углефицированные растительные остатки и детрит, примазки сажистого углистого вещества. Угли имеют преимущественно фюзеновые и редко клареновые ингредиенты [54] и представлены сапропелитовыми разностями. Характерна мелкая и средняя симметрично-параллельная, реже смещенная волнистая слоистость (рис. 2.8).

Возраст нижнемеловых отложений юго-восточной Монголии достаточно хорошо изучен по палеоботаническим исследованиям, результаты которых отражены в ряде работ [12,50,57,58,104,124]. В лаборатории палеонтологического центра Академии Наук Монголии

выполнен споро-пыльцевой анализ нижнемеловых отложений (ст. научный сотрудник Н.Ичинноров).



Рис. 2.8. Текстуры волнистой слоистости и буроугольные прослои в отложениях хухтэгской свиты *K<sub>1</sub>ht*, гл. 86 м.

При анализе образцов углистых аргиллитов и алевролитов, отобранных из керна скважины в северной части месторождения Ульзит, сделано около 70 определений спор и пыльцы. Из них примерно 35% принадлежат спорам и 65% пыльце голосеменных. Среди спор преобладают *Cyathidites*, в составе которых доминируют *Cyathidites australis*, *Cyathidites minor*. Споры *Foveosporites sp.*, *Foraminisporis asymmetricus* присутствуют единично. В составе пыльцы голосеменных преобладают *Podocarpidites luteus*, *Protopinuspollenites sp.*, *Variavesiculites delicatus*, *Protopiceapollenites sp.*, *Piceapollenites exiloides*, *Piceapollenites sp.*, *Retimonosulcites sp.*, *Protoconiferus funarius*. Полученные палинологические характеристики указывают на раннемеловой возраст хухтэгской свиты.

В дополнение к палинологическим исследованиям, непосредственно на участке месторождения, была также отобрана небольшая коллекция образцов с растительными остатками из обнажений заброшенного буроугольного карьера в центральной части Ульзитинской депрессии. Определения флоры в отобранных образцах выполнены также в палеонтологическом центре АН Монголии (ст. научный сотрудник

Л.Уранбилег). В результате палеоботанических определений установлены следующие формы – экземпляр единичного пера папоротника *Arctopteris sp.*, отпечаток стробила *Equisetites cf. lateralis Phillips* (как *Equisetum cf. laterale*: Красилов, 1982), *Equisetites vel Equisetum sp.*, семя типа *Samaropsis sp.*, а также неопределимые растительные остатки предположительно с мохообразными, отпечатки стеблей растений неясного систематического положения, многочисленные остатки растительного вещества неопределенной систематической классификации (рис.2.9-2.12).

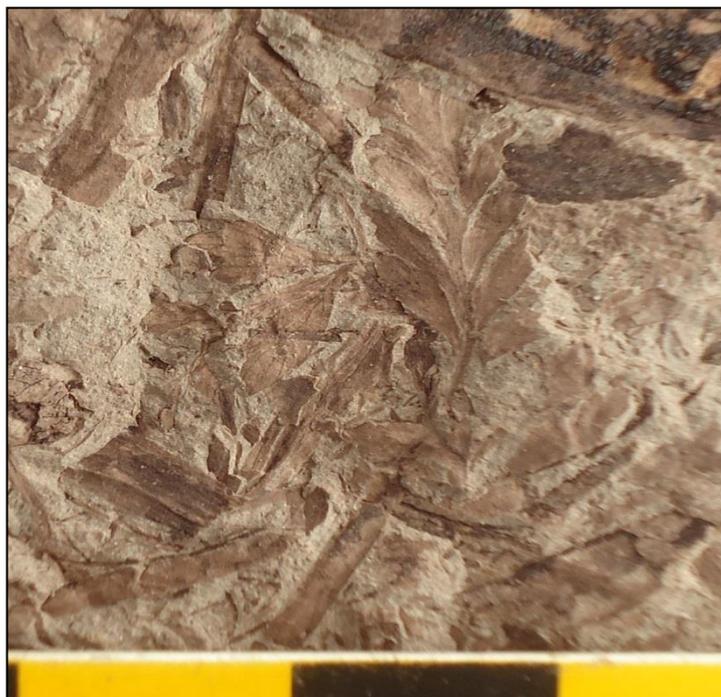


Рис.2.9. Противоотпечаток единичного пера *Arctopteris sp.* с кладофлебоидными перышками. Ув-е x 2



Рис.2.10. Противоотпечаток стробила *Equisetites cf. lateralis (Phillips)* Phillips. Ув-е x 2



Рис.2.11. Семя типа *Samaropsis* sp. Ув-е x 4.5



Рис.2.12. Растительные остатки неопределенной систематической классификации. Ув-е x 1

Результаты палеоботанических определений свидетельствуют о незначительном присутствии папоротников в составе флоры, что характерно для второй половины раннего мела. Кроме того, установленные формы

(*Arctopteris sp.*, *Equisetites cf. lateralis*, *Equisetites vel Equisetum sp.*) были ранее выявлены в отложениях второй половины раннего мела (апт-альб). Таким образом, подтверждается, что угленосные отложения Ульзитинской депрессии датируются апт-альбским возрастом нижнего мела, что соответствует хухтэгской свите  $K_{1ht}$ .

Нижнюю толщу,  $K_{1mn}$  (нижний мел, манлайская свита, валанжин) ранее относили к верхам цаганцабской свиты нижнего мела,  $K_{1cc}$  [58]. В ее составе преобладают коллювиально-делювиальные отложения с подчиненным распространением пролювиальных, аллювиально-пролювиальных и озерных осадочных образований. Разрезы свиты полностью сложены пестроцветными грубообломочными породами с пластами первично красноцветных песчаников (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Пестроцветно-красноцветные грубообломочные отложения (песчаники, гравелиты, конгломераты, брекчии) манлайской свиты, глубина 270 м.

Для пород характерен кальцитовый цемент. В разрезах отдельных скважин в верхней части манлайской свиты, на глубинах 125–180 м, имеется

пачка сероцветных угленосных озерных отложений. Полный разрез свиты не вскрыт, по наиболее глубокой скважине мощность свиты превышает 310 м.

## 2.2 Литогенетические ассоциации

Изучение литологических характеристик рудовмещающей толщи проведено по существующей методике, успешно использованной при картировании и расчленении осадочного чехла наложенных впадин Монголии и сопредельных регионов [38,44,47].

В рудовмещающей толще месторождения впервые выделены две ассоциации литогенетических типов меловых терригенных отложений [23] – красноцветно-пестроцветные и сероцветные угленосные (рис.2.14).



Рис. 2.14. Литогенетические ассоциации рудовмещающих отложений месторождения Ульзит

Во всех разрезах широко распространены грубозернистые породы – конгломераты, конглобрекции, гравелиты и песчаники. В первой ассоциации преобладают песчаники и, примерно в равной мере, встречаются

конгломераты и гравелиты, с одной стороны, и алевролиты и аргиллиты – с другой. Во второй ассоциации конгломераты и брекчии резко преобладают над песчаниками и гравелитами.

В пестроцветных грубообломочных толщах выделяется три комплекса флювиальных образований, представленных коллювиально-делювиальными, пролювиальными и аллювиально-пролювиальными образованиями.

Коллювиально-делювиальные отложения устанавливаются по отсутствию сортировки обломочных зёрен, частому присутствию и, в ряде случаев, преобладанию остроугольных и угловато-округлых обломков гравийно-галечного размера, красноцветности песчаников. Отмечаются грубое напластование и неравномерное чередование конглобрекчий, гравелитов с глыбами, песчаников с неравномерной примесью крупных и мелких остроугольных обломков (рис.2.15, 2.16).



Рис. 2.15. Осветленный и лимонитизированный несортированный галечно-гравийный крупнозернистый песчаник с штриховой слоистостью (отложения грязекаменного потока) хухтэгской свиты, гл. 58 м



Рис. 2.16. Коллювиально-делювиальные отложения с катуном первично красноватого песчаника манлайской свиты, гл. 85.7 м.

Для пролювиальных отложений характерна грубая асимметричная ритмичность с мощностями от первых метров до 15-20 м. В основании ритмов с эрозионным контактом залегают гравелиты с угловато-округлыми обломками галечного размера, которые через переслаивание сменяются конгломератами разной структуры и преобладанием угловато-округлых форм. Верхнюю часть ритмов слагают разнозернистые песчаники с примесью обломков гравийного и галечного размеров (рис. 2.17, 2.18).

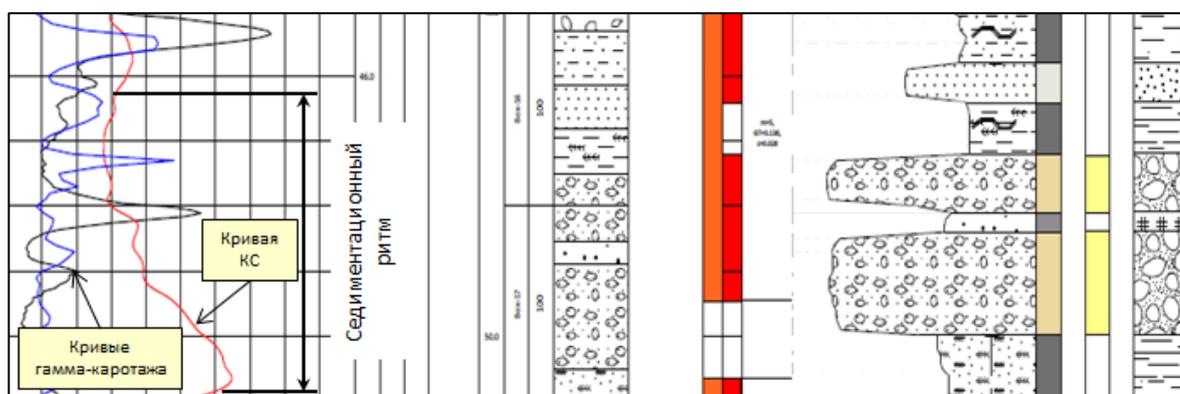


Рис. 2.17. Пролувиальный ритм в рудоносной толще хухтэгской свиты



Рис. 2.18. Сероцветные отложения долинных озер (внизу) – алевролиты с волнистой слоистостью и с прослойками угля; отложения временных озер (вверху) на краю пролювиальных шлейфов – песчаные алевролиты и песчаники с обломками гранитов. Гл. 153-162 м



Рис. 2.19. Обнажение валунных аллювиально-пролювиальных конгломератов баянширинской свиты в промоине вблизи обрамления Ульзитинской депрессии.

К аллювиально-пролювиальным отложениям отнесены конгломераты и гравелиты, отличающиеся преобладанием округлых галек и валунов и относительно заметной сортировкой (рис. 2.19). Для них также характерны прослойки средне- и крупнозернистых песчаников с мелкой горизонтальной слоистостью. Иногда читается мелкая перекрестная косая слоистость и встречаются слойки с минералами тяжелой фракции.

Во всех флювиальных отложениях состав гравийного и галечного материала представлен главным образом гранитами и гнейсами, отмечаются пегматиты, иногда кварц и обломки амфиболитов. Песчаники аркозовые.

Угленосные ассоциации сложены озёрно-болотными сероцветными алевролитами, алевропесчаниками и аргиллитами, содержащими углефицированные растительные остатки и детрит, маломощные прослойки бурых углей (от сантиметров до первых дециметров) (рис. 2.3). Для озёрно-болотных отложений типично комковатое строение (рис.2.20) с характерной мелкой и средней параллельной и смещенной волнистой слоистостью (рис.2.21).



Рис. 2.20. Комковатая текстура с углистым детритом в озерных мелкозернистых песчаниках баянширинской свиты, гл.14 м



Рис. 2.21. Нарушенная горизонтальная слоистость в мелкозернистом сероцветном песчанике хухтэгской свиты, гл. 98 м

Они переслаиваются с песчаниками и гравелитами с мелкой косоволнистой и горизонтальной слоистостью, отнесенными к аллювиально-озерным отложениям. В сероцветных угленосных ассоциациях также встречаются линзы пролювиальных и коллювиально-склоновых отложений (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Текстура взмучивания с катуном алевролита в основании угольного ритма хухтэгской свиты, гл. 60 м.

Отложения этой литогенетической ассоциации имеют отчетливую тенденцию увеличения по направлению к осевой части депрессии и фациально контрастно замещают пестроцветные отложения прибортовой части. В разрезе характерно частое ритмичное чередование разных лито-

генетических типов, что также свидетельствует об их резких фациальных переходах.

Типы разрезов и литолого-фациальная характеристика учитывалась и фиксировалась при документации керна (рис.2.23).

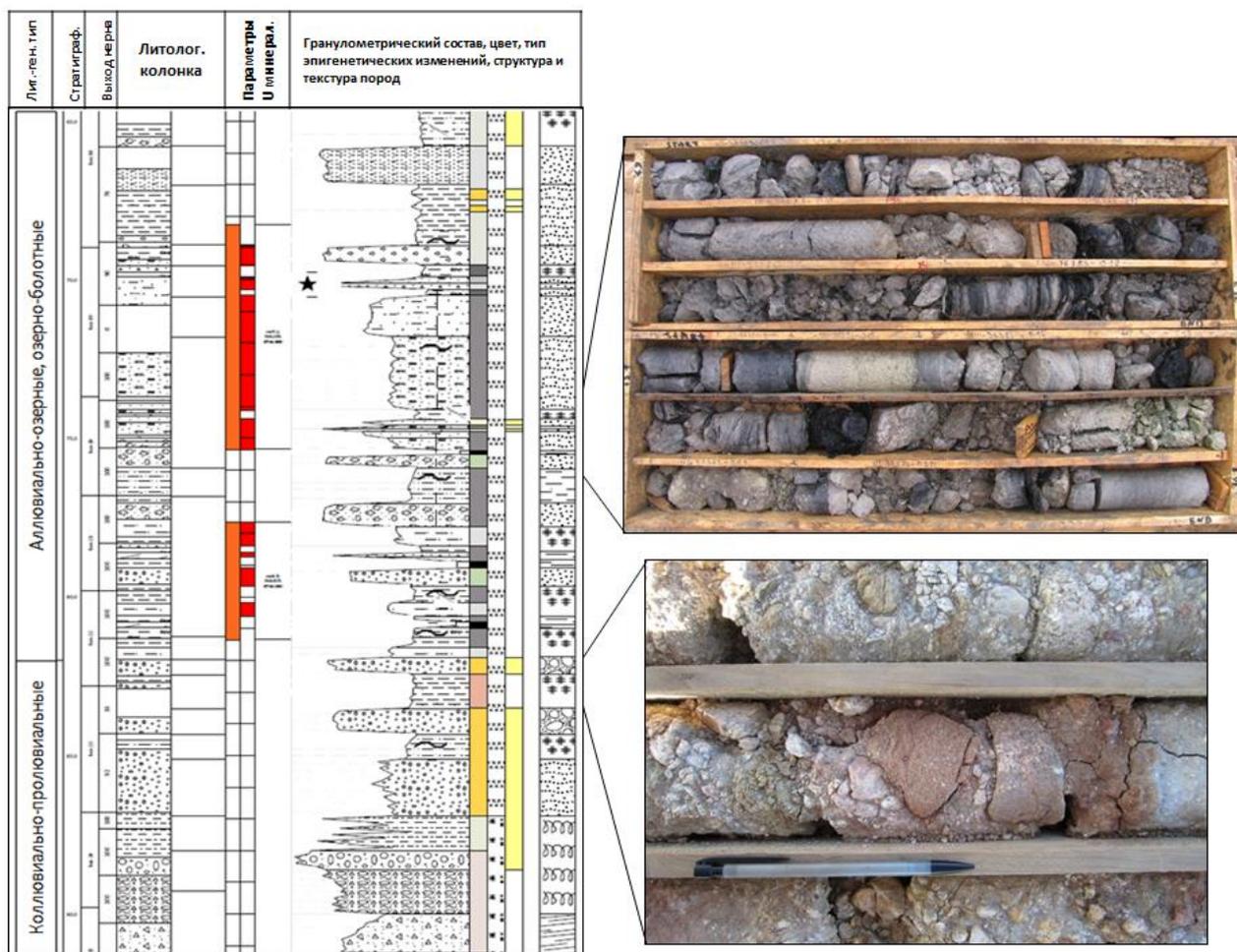


Рис. 2.23. Колонка документации опорной керновой рудной скважины.

Рассмотренные литогенетические ассоциации соответствуют фэновым подгорно-веерному, пролювиально-плосколопастному и пролювиально-фэновому болотному комплексам юрско-меловых отложений, выделенным в рифтогенных впадинах западной Монголии [81].

Для участка месторождения составлена литолого-фациальная схема (рис.2.24).

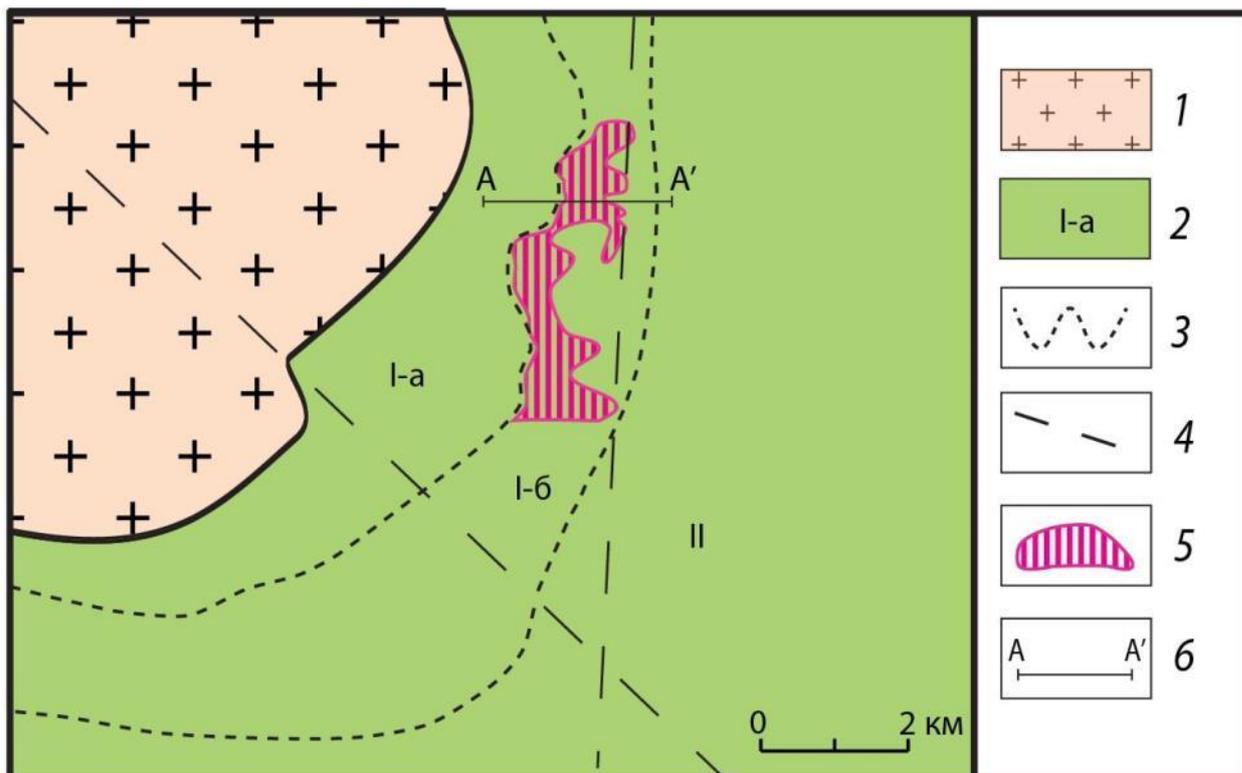


Рис. 2.24. Литолого-фациальная схема участка гидрогенного уранового месторождения Ульзит [23].

1 – пенеппенизированное гранитное обрамление; 2 – терригенные отложения мелового возраста и их литолого-фациальные типы: I – фангломератовый конус выноса (Ia – красноцветно-пестроцветный грубообломочный аллювиально-пролювиально-делювиальный, Ib – переходный пестроцветно-сероцветный пролювиально-делювиально-озерно-болотный с маломощными прослоями бурых углей), II – сероцветный озерно-болотный; 3 – литолого-фациальные границы; 4 – осевые линии основных разломов, контролирующих литолого-фациальную зональность; 5 – контур уранового оруденения месторождения Ульзит; 6 – линия геоэлектрического разреза.

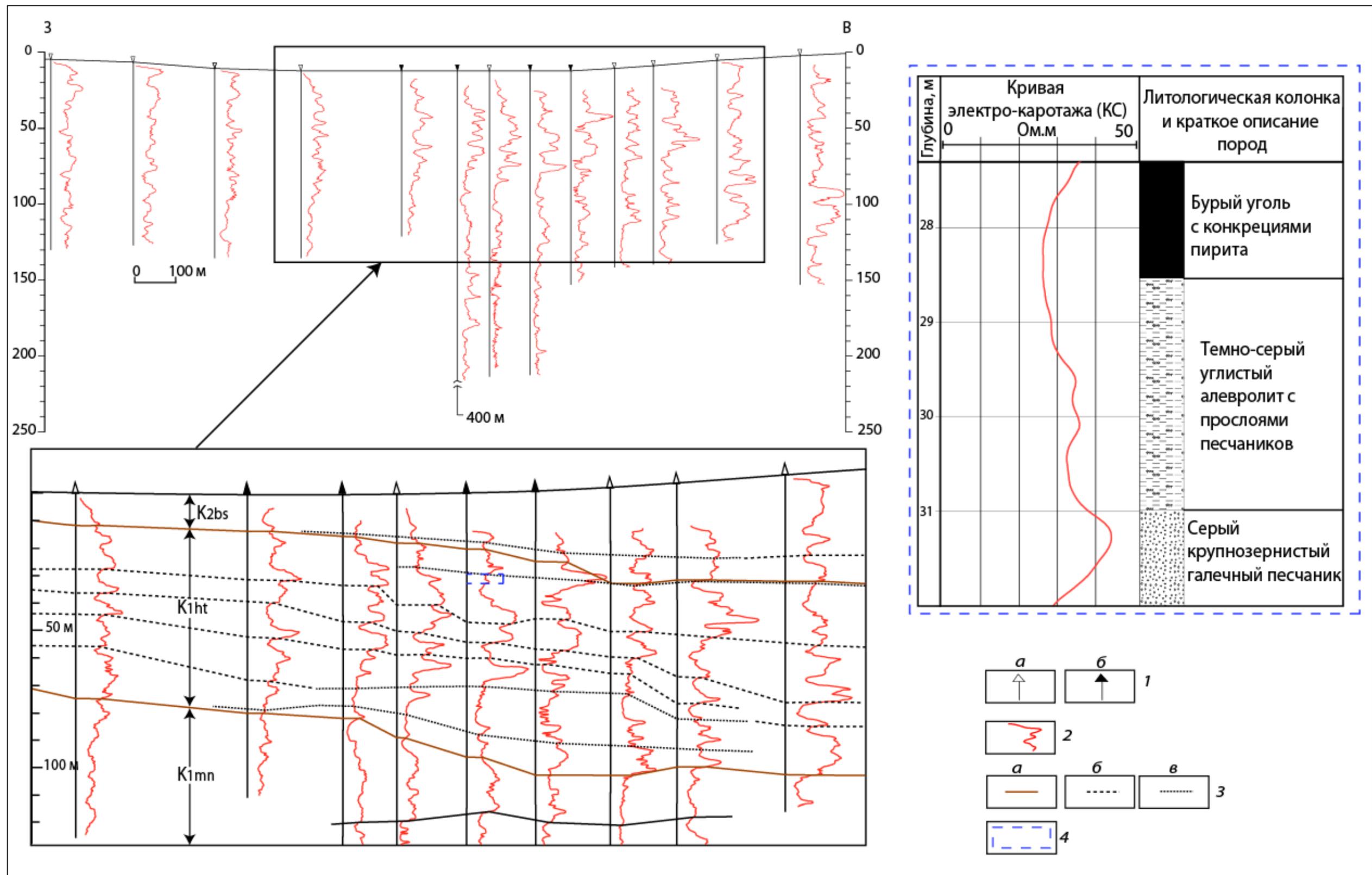


Рис. 2.25. Геоэлектрический разрез по широтному профилю А-А' с примером выделения маркирующих горизонтов по керну и электрокаротажу (КС) в скважинах. 1 – скважины (а – бескерновые, б – с керном); 2 – диаграммы электрокаротажа (КС); 3 – маркирующие границы и горизонты (а – свит, б – седиментационных ритмов, в – бурогольных прослоев); 4 – пример типичного седиментационного ритма угленосных меловых отложений.

### 2.3. Корреляция разрезов и фациальные переходы

Корреляция и фациальные изменения меловых отложений наиболее достоверно установлены по анализу керна скважин. При изучении рудоносных отложений Ульзитинской депрессии учитывался опыт Игнатова П.А., отраженный в ряде работ [44,47].

В пределах изучаемой площади проведена корреляция разрезов рудовмещающей толщи с сопоставлением документации керна, электро- и гамма-каротажа в керновых и бескерновых скважинах (рис. 2.25). Каротаж сопротивлений (КС) использовался, как основной вид электрического каротажа, для расчленения осадочного рудовмещающего разреза по проницаемости, что необходимо для определения геотехнологических свойств на гидрогенных месторождениях урана. КС, наряду с интегральным гамма-каротажем, выполнен во всех скважинах, что позволяло получать геоэлектрические разрезы для расчленения и увязки горизонтов рудовмещающей толщи в пространстве (рис. 2.26).

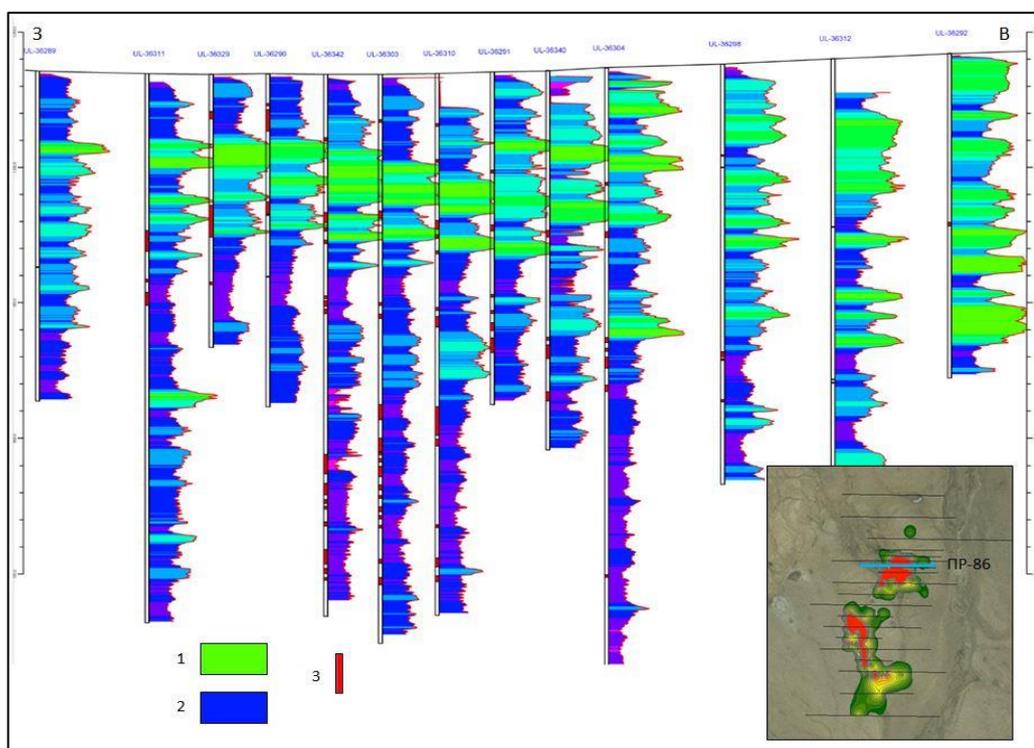


Рис. 2.26. Геоэлектрический разрез по профилю ПР-86 в северной части месторождения. 1 – высокоомные водопроницаемые породы; 2 – низкоомные слабопроницаемые породы; 3 – рудные интервалы

Основные типы пород рассматриваемой меловой толщи существенно различаются по электрическому сопротивлению (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Средние электрические сопротивления меловой осадочной толщи на площади месторождения Ульзит

| Литологическая характеристика    | Ом*м |
|----------------------------------|------|
| Гравелиты и конгломераты         | 65   |
| Песчаники с галькой              | 58   |
| Песчаники                        | 30   |
| Песчаники с карбонатным цементом | 45   |
| Алевропесчаники                  | 23   |
| Алевролиты                       | 21   |
| Уголь                            | 22   |

Средние значения этого параметра хорошо соответствуют теоретической тенденции роста сопротивления по мере увеличения размеров обломочного материала. Это позволяет уверенно применять данные КС для расчленения и корреляции разрезов.



Рис. 2.27. Окисленные базальные конгломераты в основании седиментационного мегаритма хухтэгской свиты  $K_{1ht}$ , маркирующие эрозионные поверхности, гл. ~90 м.

Установлено, что верхние части угленосных седиментационных ритмов имеют маркирующее значение и уверенно прослеживаются как по изучению разрезов по керну, так и в диаграммах электро- и гамма-каротажа. Также, достаточно хорошо сопоставляются основания седиментационных мегаритмов по пластам и линзам грубообломочных пород, залегающих в основании баянширинской и хухтэгской свит (рис. 2.27).

Такие границы представляются маркирующими сериями сближенных эрозионных поверхностей (см. рис. 2.25).

На стратиграфическом уровне манлайской свиты отчетливо выражено замещение с запада на восток коллювиально-делювиальных отложений на озерно-болотные (см. рис. 2.24). Анализ каротажных диаграмм по бескерновым скважинам позволяет говорить о наличии пестроцветных грубообломочных разрезов на западном фланге площади. Разрезы, которые по данным каротажа сложены угленосными мелкообломочными озёрными отложениями, занимают центральную часть площади.

На стратиграфическом уровне хухтэгской свиты отмечается относительная фациальная однородность. Однако и здесь имеет место фациальное замещение озёрно-болотных отложений на коллювиально-делювиальные. Далее на восток появляются разрезы, в которых примерно в равной мере имеются коллювиально-делювиальные и озёрные отложения. Еще восточнее расположены разрезы, которые сложены исключительно озерными отложениями (см. рис. 2.24). Важно подчеркнуть, что линзы аллювиально-озерных песчаников и гравелитов, находящиеся внутри хухтэгской свиты, более широко распространены на севере площади и выклиниваются на юг. Такие изменения следует связать с общим развитием палеодолинных отложений в меридиональном направлении и привносе обломочного материала не только с запада, но и с севера.

На стратиграфическом уровне баянширинской свиты фациальные изменения близки хухтэгским. Здесь аллювиально-пролювиальные отложения целиком слагают разрезы западного фланга месторождения. На

восток в песчано-конгломератовой толще установлены угленосные отложения. Для этого уровня надо отметить и появление аллювиально-пролювиальных разрезов на юго-востоке площади, что можно связать с наличием палеоподнятия, осложняющего прибортовую часть депрессии. Простираение этого конседиментационного поднятия было субмеридиональным, на что указывают распространение грубообломочные отложений, отмеченных выше.

## **2.4. Выводы**

➤ В осадочном чехле Ульзитинской депрессии, где локализовано месторождение впервые проведено стратиграфическое расчленение разреза и выделены три свиты меловых отложений.

➤ В центральной части площади месторождения Ульзит картируется мелководный озёрно-болотный палеобассейн мелового возраста.

➤ Бассейн сложен типичной угленосной формацией с аллювиально-фэновыми (аллювиально-пролювиальными) веерами и конусом выноса в периферийной части.

➤ Палинологическими и палеоботаническими исследованиями подтвержден апт-альбский возраст угленосных отложений, в которых заключен основной объем уранового оруденения.

➤ Литолого-фациальные взаимоотношения весьма контрастны и свидетельствуют о ритмичном режиме осадконакопления в краевой части мелководного озёрно-болотного бассейна на фоне многостадийных поднятий обрамления.

➤ Установлены маркирующие горизонты, интерпретируемые по опорным скважинам с керном и геоэлектрическим характеристикам (КС) в бескерновых, что ускоряет и удешевляет корреляцию разрезов осадочной толщи и дает возможность создания корректной геологической основы для поисков месторождений полезных ископаемых.

➤ Проведенный литолого-фациальный анализ, расчленение и корреляция разрезов служат надежной геологической основой для анализа закономерностей распространения уранового оруденения.

### **Глава 3. Морфология рудоносных зон месторождения Ульзит и закономерности их локализации**

Первоочередными задачами на вновь открытом урановорудном месторождении Ульзит были геометризация рудоносных зон и рудных тел, определение их морфологии и параметров. Не менее важной задачей для продолжения поисков новых залежей на месторождении являлось изучение закономерностей локализации урановой минерализации и основных рудоконтролирующих факторов.

Содержание данной главы положено в обоснование третьего защищаемого положения – *«Роллоподобные и линзовидные урановые залежи залегают многоярусно и контролируются контрастной фациальной сменой грубообломочных пород конуса выноса глинисто-песчаными угленосными отложениями озерно-болотного бассейна. Наиболее продуктивные рудные тела месторождения Ульзит приурочены к выклиниванию фронта эпигенетического грунтово-пластового окисления, развивающегося субсогласно с контрастным фациальным замещением».*

#### **3.1. Морфология рудных зон и основные рудоконтролирующие факторы**

Рудное поле месторождения располагается вдоль северо-западного борта Ульзитинской депрессии. Оно представляется частью депрессии, в которой имеется узел пересечения региональных разломов. Разведанные урановые залежи в плане формируют асимметричную линейно вытянутую полосу меридионального простирания, развитую более чем на 4 км при ширине 300-1000 м, тяготея к фронтальной дугообразной границе

выклинивания верхне-меловых отложений обширного конуса выноса (рис.3.1).

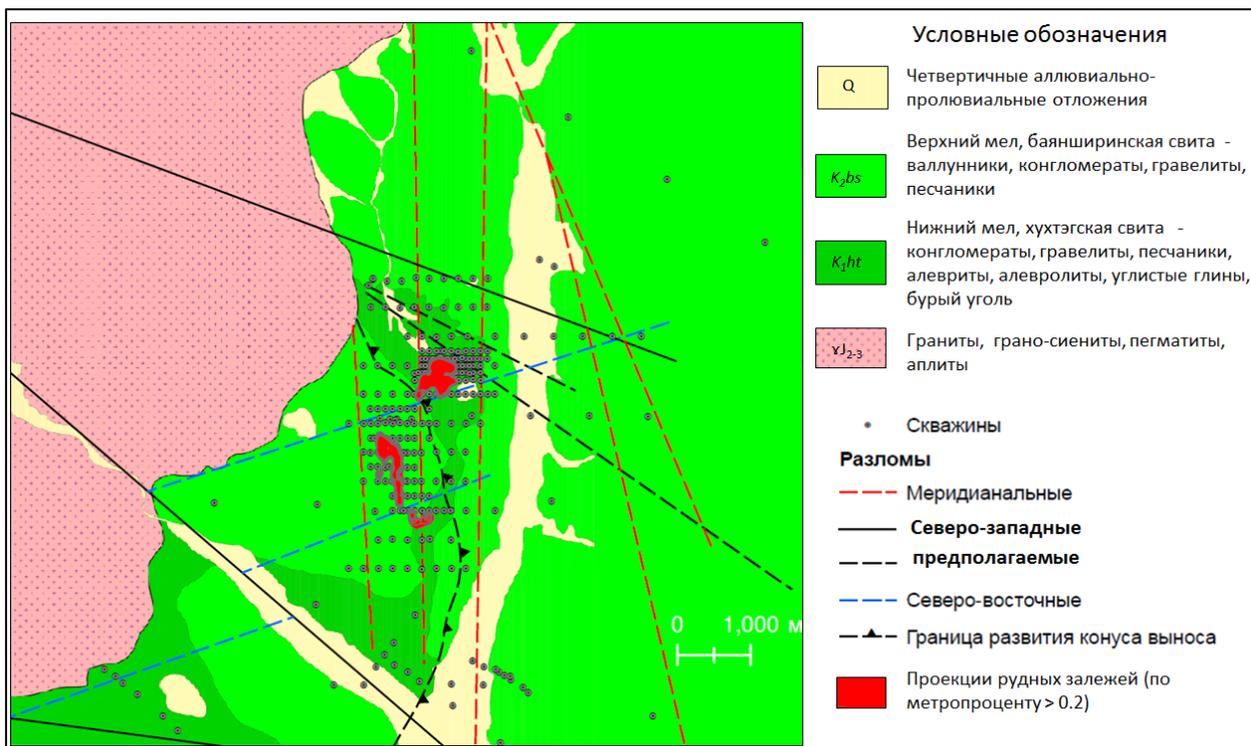


Рис.3.1. Геолого-структурная схема участка месторождения Ульзит

Урановая минерализация локализована в проницаемых и слабопроницаемых осадочных терригенных отложениях нижне-верхнемелового возраста, во всех трех выделенных толщах осадочного разреза (см. главу 2.1), не имея четкого стратиграфического контроля (рис.2.1). Однако оруденение достигает наибольших масштабов в отложениях хухтэгской угленосной свиты  $K_{1ht}$ , отличающейся наибольшей литолого-фациальной неоднородностью и сложным чередованием проницаемых и слабопроницаемых пород, а также относительно более значительным присутствием углефицированной органики, что обусловило контрастную восстановительную среду.

В целом, оруденение контролируется границей фациального замещения красноцветно-пестроцветной пролювиальной литогенетической ассоциации на сероцветную угленосную аллювиально-озерную и сменой окисленных

пород на сероцветные неокисленные. Наблюдается отчетливая приуроченность рудоносных зон к границе окисленных и сероцветных пород.

На месторождении выделены наиболее продуктивная и изученная *Северная* и предварительно разведанная *Южная* части, которые предположительно смещены относительно друг друга по пострудному разлому (рис. 3.2).

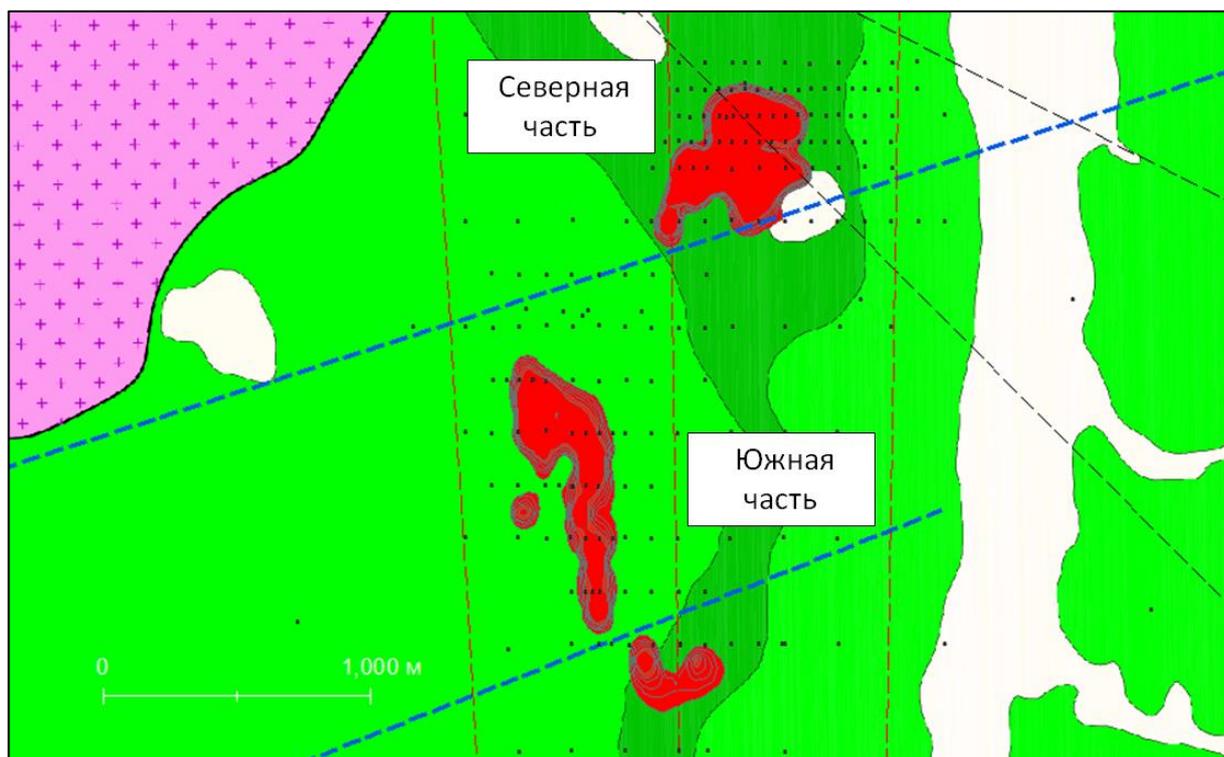


Рис. 3.2. Форма рудоносных зон месторождения Ульзит в плане (рудоносные зоны выделены красным цветом по суммарному метропроценту,  $>0.2$  м<sup>0</sup>%, условные обозначения в рис.3.1).

В разрезе *Северной* части выделены многоуровневые рудные тела сложных линзо-, ленто- и роллообразных форм распространённых на глубинах 10–180 м. Наиболее продуктивные урановорудные залежи локализованы в пределах глубин 25-40 и 50-90 м. Они приурочены к участкам контрастной смены меловых грубообломочных отложений на угленосные глинистые, которые совмещены с выклиниванием зон эпигенетического окисления (рис.3.3).

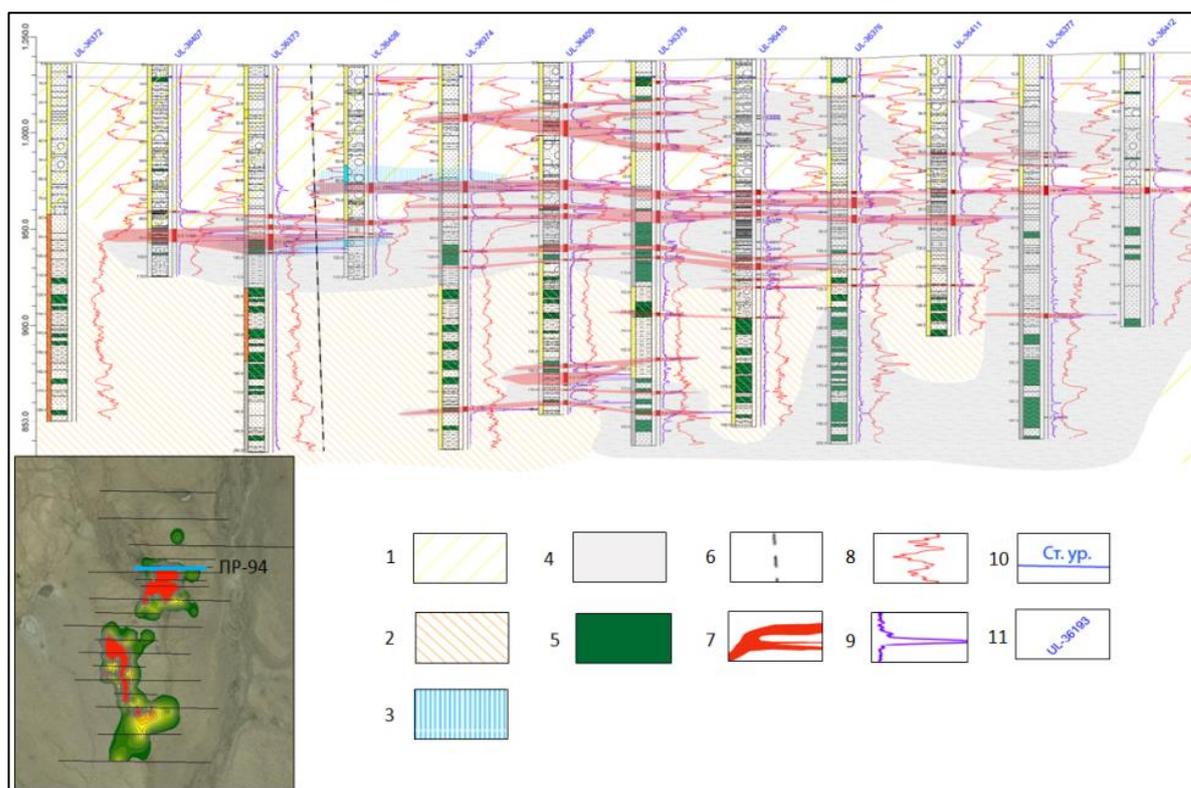


Рис. 3.3. Геологический разрез по профилю ПР-94 в северной части месторождения Ульзит. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – пластово-поровое эпигенетическое окисление по красноцветно-пестроцветным грубообломочным отложениям; 3 – зоны эпигенетического оглеения (обеления); 4 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 5 – слабопроницаемые отложения (алевролиты, глины, углистые глины); 6 – предполагаемые разломы; 7 – урановорудные залежи; 8,9 – кривые электро- и гамма-каротажа; 10 – статический уровень подземных вод; 11 – поисково-разведочные скважины.

В большинстве случаев границы контрастных литолого-фациальных переходов и границы окислительно-восстановительных геохимических зон согласуются.

Наиболее значимая минерализация приурочена к кровле сероцветной толщи и к западной границе фациального изменения отложений. В разрезе рудные тела залегают согласно с границей фациального перехода от пестроцветных отложений к сероцветным, насыщенным углефицированным органическим веществом, зачастую повторяя сложную заливо- и струеобразную форму фациальных переходов (рис.3.3).

Урановое оруденение концентрируется в сероцветных мелко-, средне-, крупно-зернистых слаболитифицированных песчаниках, обогащенных тонкодисперсным углефицированным органическим веществом, частично с включениями более крупных обломков углефицированных органических остатков, а также в песчаниках алевритистых и глинистых, алевритах и алевролитах, в меньшей степени в углистых глинах и маломощных буроугольных прослоях. В отдельных случаях урановая минерализация приурочена к более грубообломочной части разреза – гравелитам, плохосортированным песчаникам с гальками гранитных пород, галечникам и конгломератам.

На наиболее изученном северном участке месторождения предварительно выделены три уровня уранового оруденения – верхний, средний и нижний (рис.3.4).

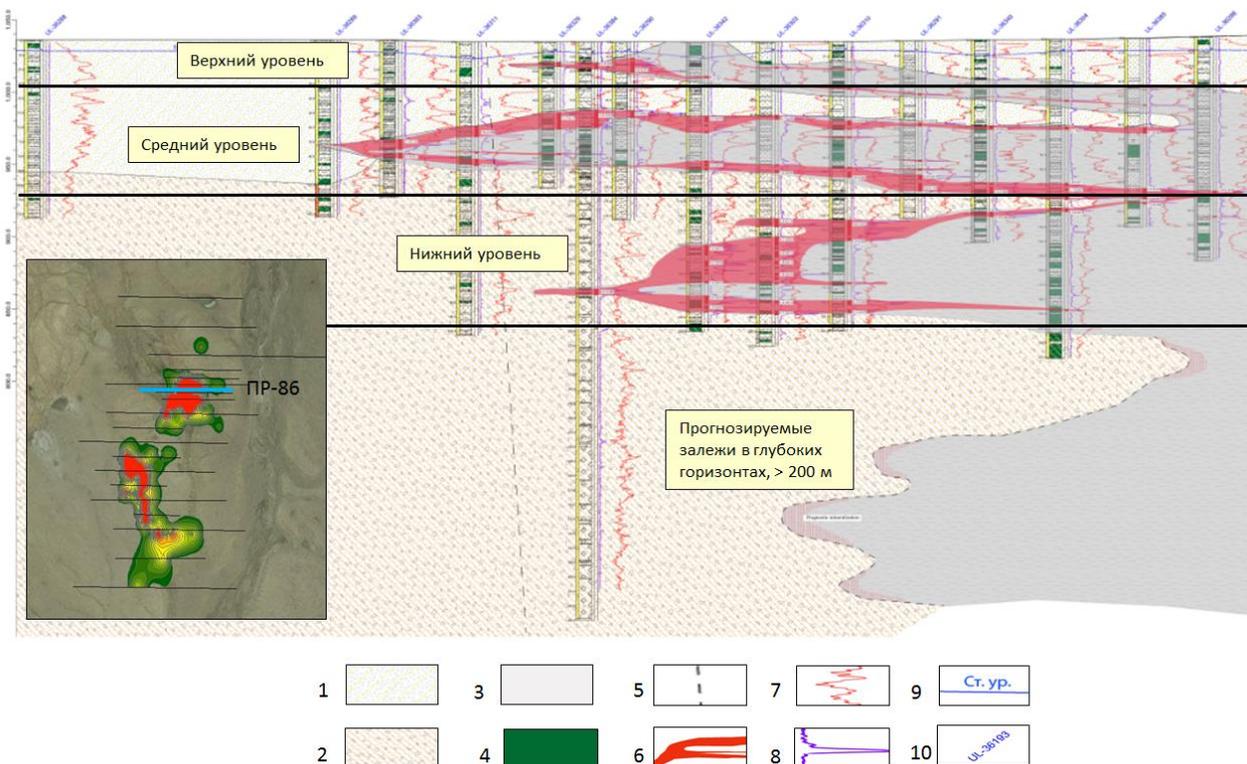


Рис. 3.4. Три уровня уранового оруденения в северной части месторождения Ульзит. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – пластово-поровое эпигенетическое окисление по красноцветно-пестроцветным грубообломочным отложениям; 3 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 – слабопроницаемые отложения

(алевролиты, глины, углистые глины); 5 – предполагаемые разломы; 6 – урановорудные залежи; 7,8 – кривые электро- и гамма-каротажа; 9 – статический уровень подземных вод; 10 – поисково-разведочные скважины.

*Верхний* уровень находится на абсолютных отметках 1013-1020 м на глубине 13-30 м и приурочен к приповерхностному горизонту сероцветных песчаников, алевролитов, гравелитов с включениями крупнообломочного материала гранитных пород обрамления, обогащённых углефицированным органическим веществом и маломощными прослоями бурых углей и лигнитов. Урановая минерализация развивается по контакту окисленных лимонитизированных, проницаемых отложений с сероцветными. Мощность рудных интервалов составляет 1-8 м с содержаниями урана 0.01-0.05 %. К востоку и югу параметры рудных тел уменьшаются. Они представлены маломощными линзами и лентообразными телами с низкими содержаниями урана. Частично этот уровень оруденения имеет свое продолжение на юг, где выходит на дневную поверхность в эрозионном окне. Здесь в черновато-серых тонкозернистых песках и алевролитах сильно обогащённых тонкодисперсным углефицированным детритом находится интенсивная наземная радиогеохимическая аномалия. Однако, как отмечено выше, промышленнозначимого оруденения на этом гипсометрическом уровне южной части месторождения нет.

*Средний* уровень условно разделен на два подуровня локализованные в кровле и подошве сероцветных пород, по границе с более проницаемыми эпигенетически лимонитизированными грубообломочными и песчаными разновидностями пород. Рудные залежи концентрируются на абсолютных отметках 972-1006 м и 915-961 м, на глубинах 30-60 м и 75-115 м соответственно. Морфология рудных залежей сложная. Они имеют линзовидную, лентовидную, пластообразную и роллоподобную формы. Рудовмещающая толща представлена сложным чередованием сероцветных разнозернистых слаболитифицированных песчаников, отдельными линзами и горизонтами грубообломочных пород с превалированием слабоокатанного

обломочного материала гранитного состава, а также алевролитами, в меньшей степени глинами, отдельными маломощными прослоями бурых углей. Породы обогащены углефицированным органическим веществом. В отдельных пересечениях встречаются кварц-полевошпатовые среднезернистые песчаники с небольшим количеством углефицированного растительного детрита, но с интенсивной межзерновой эпигенетической пиритизацией.

Мощность рудных интервалов составляет 1-15 м, в среднем ~5 м, содержание урана 0.016-0.17 %. Следует отметить присутствие наиболее контрастных руд с содержанием урана 0.17 %, регистрируемых по западному контуру северной части месторождения на глубине 50-65 м при мощности рудных сечений 7.5-12 м. Рудные залежи *среднего* уровня являются наиболее продуктивными, в среднем 3-5 кг/м<sup>2</sup> с локализацией основной массы оруденения в проницаемых отложениях (до 80-90%). Проекция рудных залежей этих уровней на горизонтальную плоскость имеют наибольшие площади.

*Нижний* уровень урановой минерализации связан с развитием струеобразных и очаговых зон эпигенетического окислительного фронта в более глубокие горизонты нижнемеловой красноцветно-пестроцветной молассы с отдельными горизонтами сероцветных пород. Гипсометрически рудные тела находятся на абсолютных отметках 846-919 м, на глубине 117-188 м. В отложениях этой части разреза увеличивается процент глинистой составляющей. Продуктивные отложения представлены сероцветными песчаниками, слаболитифицированными алевро-песчаниками, алевритами и глинами. Аналогично с вышележащими горизонтами отмечается обогащение углефицированным органическим веществом. Мощность рудных тел в этой части рудной залежи составляет 1- 10.5, содержания урана 0.015-0.056%.

Следует отметить, что сгущение буровой сети при разведке месторождения с 400x200 м до 200x100-50 м существенно повлияло на

уточнение морфологии рудоносных зон и рудных залежей. При этом ресурсы урановых руд месторождения увеличились (рис.3.5).

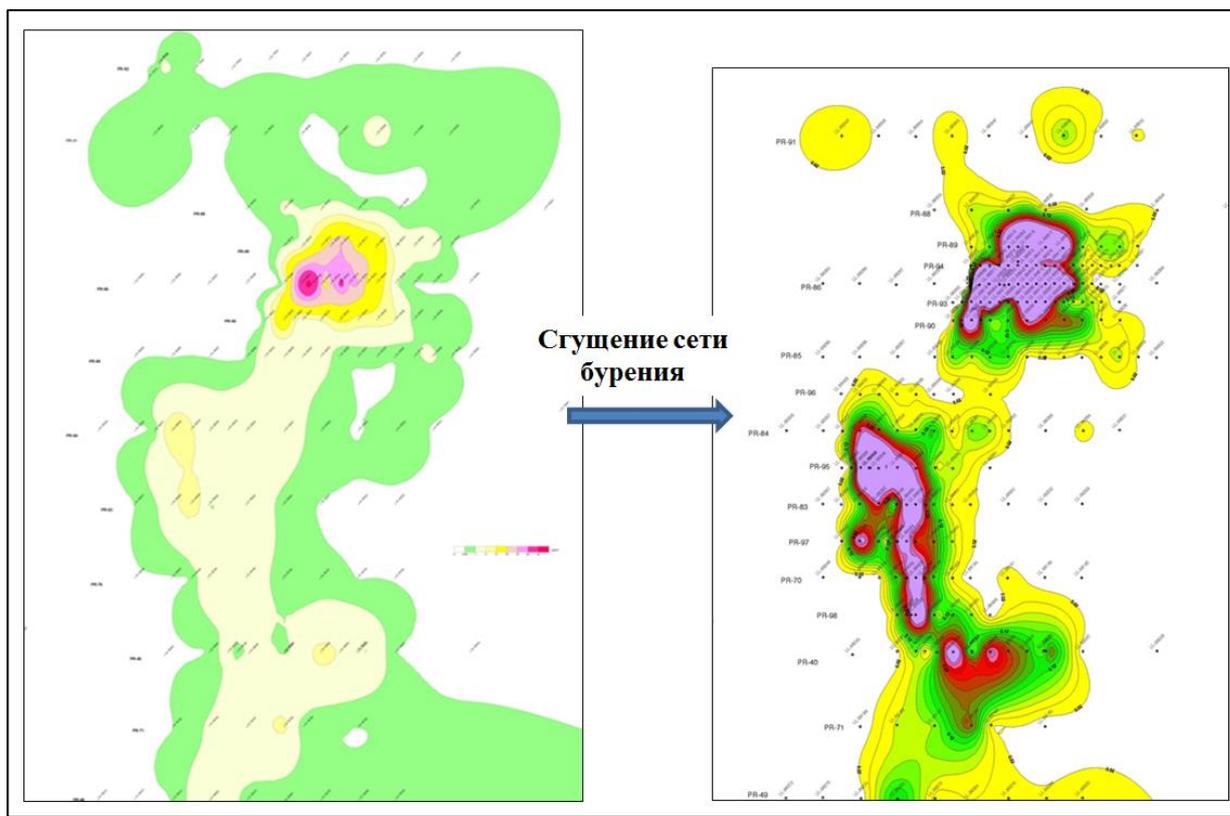


Рис. 3.5. Изменение формы рудных залежей в плане и прирост запасов на месторождении Ульзит за счет сгущения буровой сети

Урановая минерализация распространяется на юг в меридиональном направлении на  $\sim 3$  км. Западная граница развития ураноносных пород в *Южной* части месторождения отчетливо контролируется окислительно-восстановительной зональностью, проявленной переходом окисленных грубообломочных пород конуса выноса, развитых вблизи кристаллического обрамления, к сероцветным менее проницаемым аллювиально-озерным, удаленным от борта депрессии. Восточная граница урановой минерализации обусловлена распространением ураноносных аркозовых песчаников с интенсивной каолинитизацией и частично пиритизированных (рис.3.6).



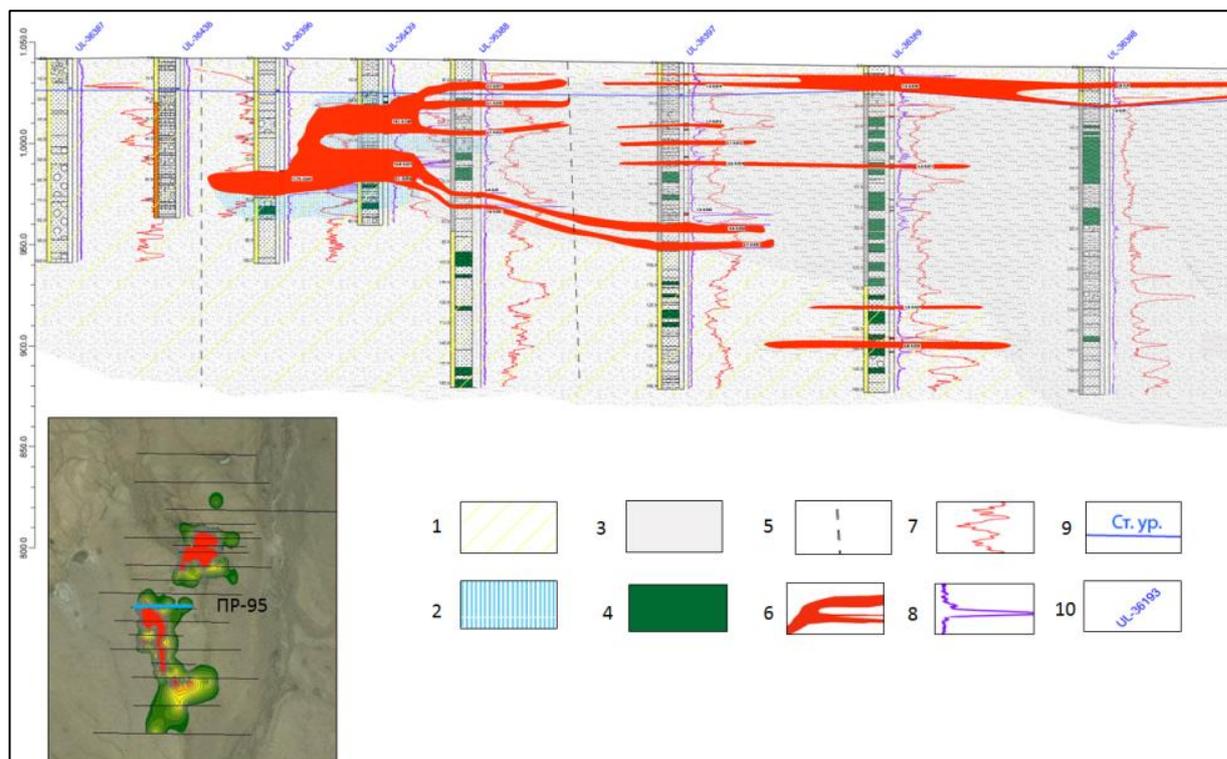


Рис. 3.7. Геологический разрез по профилю ПР-95 в южной части месторождения Ульзит. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – зоны эпигенетического оглеения (обеления); 3 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 – слабопроницаемые отложения (алевролиты, глины, углистые глины); 5 – предполагаемые разломы; 6 – урановорудные залежи; 7,8 – кривые электро- и гамма-каротажа; 9 – статический уровень подземных вод; 10 – поисково-разведочные скважины.

Многоярусность оруденения характерна для большинства инфильтрационных урановых месторождений [110].

Приуроченность рудных тел к контрастной фациальной границе красноцветно-пестроцветных аллювиально-пролювиальных и сероцветных озерно-болотных отложений выявленных на месторождении Ульзит, также характерна для ряда стратиформных урановых месторождений, распространенных в девонских наложенных впадинах Минусинского и Тувинского прогибов (Усть-Уюкское, Онкажинское, Оглахтинское, Тегир-Тайшенское и др.) [47], а также для Имского месторождения в Забайкалье [48,97].

### 3.2. Признаки вторичных изменений

В рудовмещающей осадочной толще широко развиты вторичные изменения и минеральные новообразования. Их регистрация, предварительная классификация и анализ связи с урановой минерализацией были проведены впервые на основе изучения керна опорных скважин по известной методике [9,29,63,110].

В пестроцветно-красноцветных отложениях зачастую присутствуют небольшие пятна осветления, не имеющие связи с урановой минерализацией, которые по форме напоминают текстуры биоглифов (рис. 3.8)



Рис. 3.8. Древние экзодиагенетические пятна осветления, связанные с песчаными образованиями по текстурам биоглифов (?)

Представляется, что этот тип локального осветления образовался на *экзодиагенетическом* этапе в раннем и позднем мелу, когда на осадочные породы действовали два типа древних грунтовых вод – глеевые и окислительные. Глеевый процесс заключался в локальном осветлении первично красноцветных пород в связи с восстановительными иловыми и почвенными водами.

С этим же процессом следует связать осветление красноцветных пород, подстилающих угленосные сероцветные озерные отложения. Восстановительные воды проникали в них на первые десятки сантиметров.

Часто в рудовмещающей толще отмечается мелкозернистый пирит, конкреции пирита и пленочный пирит по обломкам пород, которые обычно

находятся в сероцветных породах с пористым цементом вблизи угольных прослоев (рис.3.9).

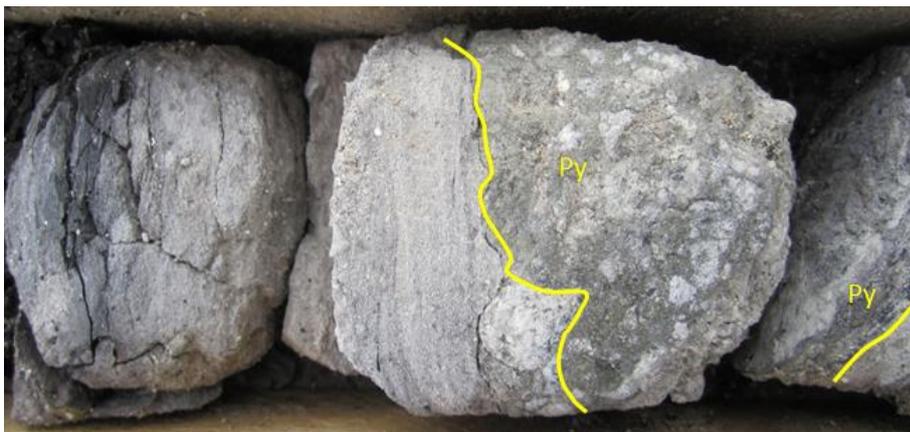


Рис. 3.9. Пирит в цементе гравелитов на контакте с угленосными песчаниками

Предполагается, что на этапе *экзодиагенеза* могло происходить локальное микробильное образование сероводорода и соответственное формирование пирита в цементе проницаемых пород.

Окислительные *экзодиагенетические* процессы, очевидно, развивались во время позднего мела во время роста сопредельных поднятий и накопления грубообломочных отложений баянширинской свиты. На это указывает регрессивное строение разрезов, отмеченное выше.

В цементе красноцветно-пестроцветных отложений локально отмечено восстановление железа, проявленное в развитии серо-зеленой окраски по наиболее проницаемым линзам крупнозернистых песчаников (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Красноцветный алевролит с осветленной линзой крупнозернистых песчаников, манлайская свита.

Предположительно, эти изменения происходили на этапе *катагенеза*, также в позднемеловое время. Вероятно, происходило частичное восстановление первично красноцветных проницаемых пород по поровым водоносным горизонтам. Оно было обусловлено влиянием древних восстановительных по железу захороненных седиментационных вод, отжимавшихся из угленосных глинистых отложений.

Уран в процессе *катагенеза* скорее всего не перераспределялся. Это подтверждается тем, что по гамма-каротажу урановая минерализация не регистрируется в зоне изменений, связанных с экзодиагенетическими и катагенетическими процессами.

В ряде скважин отмечается *вторичное обеление* разнообразных пород, охватывающее десятки метров разрезов и прослеживаемое на сотни метров по латерали (рис.3.11).

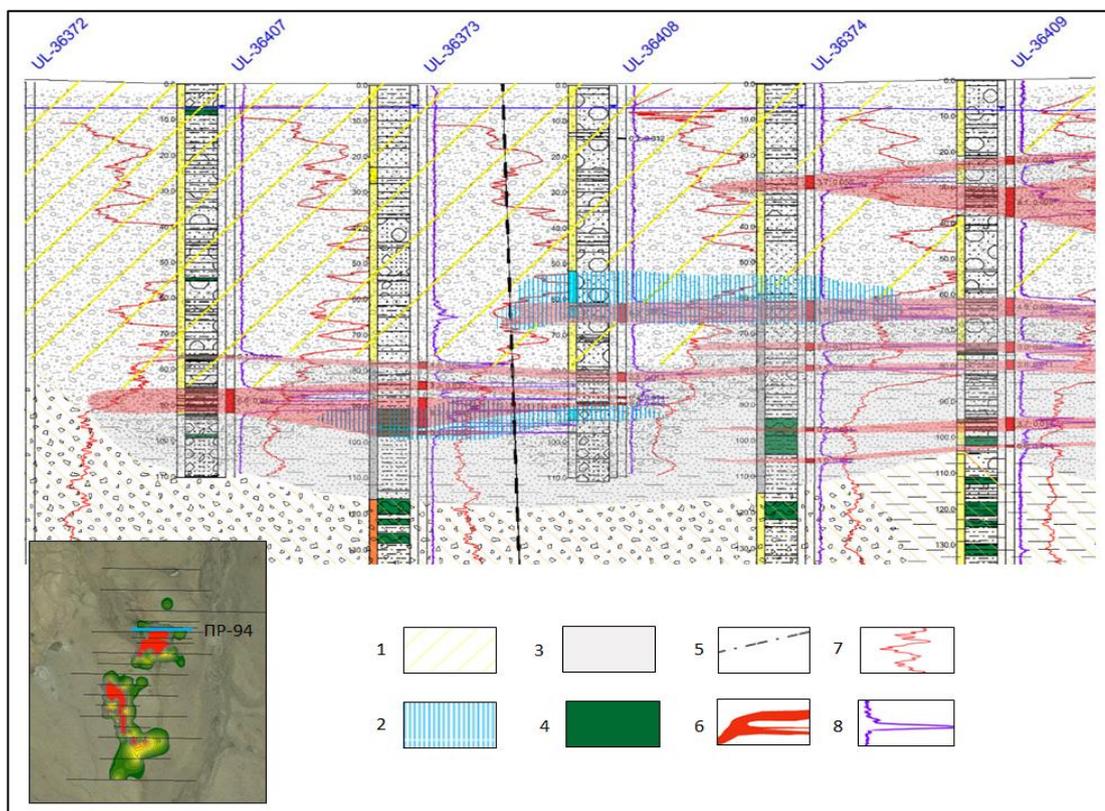


Рис. 3.11. Зоны обеления мощностью >10 м вскрытые скважинами ПР-94 в северной части месторождения. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – зоны эпигенетического оглеения (обеления); 3 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 – слабопроницаемые отложения (алевролиты, глины, углистые глины); 5 –

предполагаемые разломы; б – урановорудные залежи; 7,8 – кривые электро- и гамма-каротажа.

Обелению и осветлению подвергаются как первично сероцветные, так и пестроцветные разности пород (рис.3.12).



Рис. 3.12. Вторичное обеление пестроцветных и сероцветных пород в скв. 36408 (ПР-94), гл. 57-62.5 м.

Макроскопически видно, что в цементе развиваются агрегаты белого глинистого минерала, вероятно каолинита, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа единичных проб из рудных интервалов Северной части месторождения, выполненного в Центральной геологической лаборатории Монголии. В двух пробах сероцветных ураноносных песчаников и алевритов кроме кварца, альбита, санидина были также определены каолинит и диккит.

В ряде случаев осветление развивается не только по пластам, но и по трещинам (рис.3.13), что подтверждает его эпигенетическое происхождение.



Рис. 3.13. Послойное и прожилковое осветление по трещине скола в красноцветных песчаниках манлайской свиты

Как отмечено выше, в *Южной* части месторождения установлена пространственная связь уранового оруденения с зонами каолинитизации и пиритизации по аркозовым песчаникам (рис.3.14).



Рис. 3.14. Каолинитизация аркозовых песчаников в скважине Южной части

Обеление следует считать позднемеловым, вероятно связанным с поствулканическими гидротермальными процессами. В разрезах, где присутствует обеление, оно ассоциируется с признаками тектонических нарушений и вместе с ними маркирует линейные зоны нарушений. На этом основании предполагается, что процесс обеления и осветления был результатом деятельности гидротермальных растворов и его можно отнести к типу аргиллизации. Аналогом такого рода вторичных изменений можно считать установленное прожилково-послойное восстановительное

осветление флюидомагматического генезиса красноцветных кембрийских пород Накынского рудного поля и докембрийских Зимнебережского района Архангельской алмазоносной провинции [40].

В процессе предположительно гидротермальной аргиллизации могло происходить перераспределение урана. Однако, масштаб его был незначительным. Доступные геохимические данные по интервалам контрольного опробования рудных интервалов не позволяют сделать вывод о четкой приверженности урановой минерализации к зонам обеления, либо о перераспределении других элементов.

Ведущим процессом вторичного минералообразования на месторождении Ульзит является *эпигенетическое окисление*, выраженное в развитии гидроксидов железа по порам и трещинам в водопроницаемых нижнемеловых отложениях. Окисление рудовмещающих отложений месторождения Ульзит согласуется с общей концепцией развития зон эпигенетического окисления водородных месторождений урана подробно изученных и освещенных в литературе [7,8,18,29,48,56,79,110]. Лимонитизация распространяется как по первично сероцветным и красноцветным, так и по осветленным породам. Форма проявления окисления – пластово-поровая и прожилково-трещинная.



Рис. 3.15. Интенсивная эпигенетическая лимонитизация грубообломочных отложений

Пластово-поровые и прожилково-трещинная окислительные зоны представлены тремя разновидностями:

1) полностью лимонитизированными по всей массе породами, где лимонитизации подвержены и цемент, и галька, и гравий, содержащие минералы закисного железа (рис.3.15);

2) частично окисленными породами, в которых имеются пятна лимонитизации размерами от сантиметров до дециметров (рис.3.16);



Рис. 3.16. Частичная эпигенетическая лимонитизация песчаников и гравелитов

3) слабой лимонитизацией, которая выражена светлым желто-зеленым и салатным цветом пород (рис.3.17).



Рис. 3.17. Слабая эпигенетическая лимонитизация (салатный цвет)

Урановорудные концентрации пространственно связаны с контактом сероцветных угленосных пород с зонами окисления второй и третьей разновидности (рис.3.18).



Рис. 3.18. Ураноносные слаболитифицированные отложения хухтэгской свиты. Урановая минерализация 0.01-0.1% в кровле угленосной толщи, на контакте эпигенетически слабоокисленных и сероцветных угленосных песчаников и алевроитов

Пластово-поровое окисление резко преобладает. Полностью окисленные лимонитизированные породы встречены на западном и северном флангах месторождения. В сероцветной угленосной толще эпигенетическое окисление развито согласно напластованию и развивается по наиболее проницаемым обломочным породам между плохопроницаемыми неокисленными алевроито-глинистыми.

Зона окисления имеет сложную заливообразную морфологию. Надо полагать, что её развитие, по-видимому, связано с процессами поверхностного, грунтового окисления и подрусловым потоком подземных вод в меридиональном направлении по предполагаемой палеодолине и от западного борта депрессии. Это способствовало формированию зон субпластового окисления и, как следствие, частичному образованию рудных тел роллообразной морфологии в виде форм «обратного ролла».

Сплошных водоупоров в разрезе рудовмещающей осадочной толщи нет. Присутствуют многочисленные локальные горизонты и линзы слабопроницаемых и непроницаемых отложений. В керне отдельных

скважин зафиксировано наличие окисленных песчаных горизонтов мощностью до 10-15 м, залегающих между сероцветными слабопроницаемыми породами до глубины 100-115 м, что подтверждает наличие субпластового окисления.

В целом, рудоформирующий тип эпигенетического окисления осадочных толщ континентального рифтогенного бассейна определен как *грунтово-пластовый*. Представляется, что *грунтовый* и *субпластовый* окислительный фронт развивался по наиболее проницаемым отложениям грубообломочной пестроцветной формации от борта депрессии по отложениям конуса выноса, а также по зонам трещиноватости вдоль разрывных нарушений.

Контрастный восстановительный барьер, в первую очередь, обусловлен присутствием углефицированного органического вещества в озерно-болотных отложениях и, частично, связан с зонами пиритизации. Для рудных пересечений характерна приуроченность к зонам контактов с сероцветными угленосными отложениями, содержащими конкреционный и поровый пирит.

### ***3.3. Признаки структурных деформаций и их связь с оруденением***

На месторождении присутствуют признаки тектонических нарушений, отмеченные и предварительно классифицированные при дешифрировании космических снимков, документации керна и анализе разрезов. Установлено, что рудоносные зоны в ряде случаев тяготеют, а иногда контролируются зонами структурных деформаций. Учитывая, что месторождение в целом находится в районе влияния и пересечения разнонаправленных разломов, что было одним из определяющих факторов при его прогнозе, изучение признаков дислокаций в рудовмещающей толще представляется важным.

На месторождении предварительно определены признаки двух типов структур – *конседиментационных* и *постседиментационных*.

Конседиментационные структуры отмечаются по линейным зонам контрастных фациальных замещений, и также по близкому к прямолинейному в плане выклиниванию сероцветных угленосных пачек в пестроцветные грубообломочные отложения. В частности, такое соотношение установлено по линии профиля ПР-86 на стратиграфическом уровне верхней части манлайской свиты (рис.3.19).

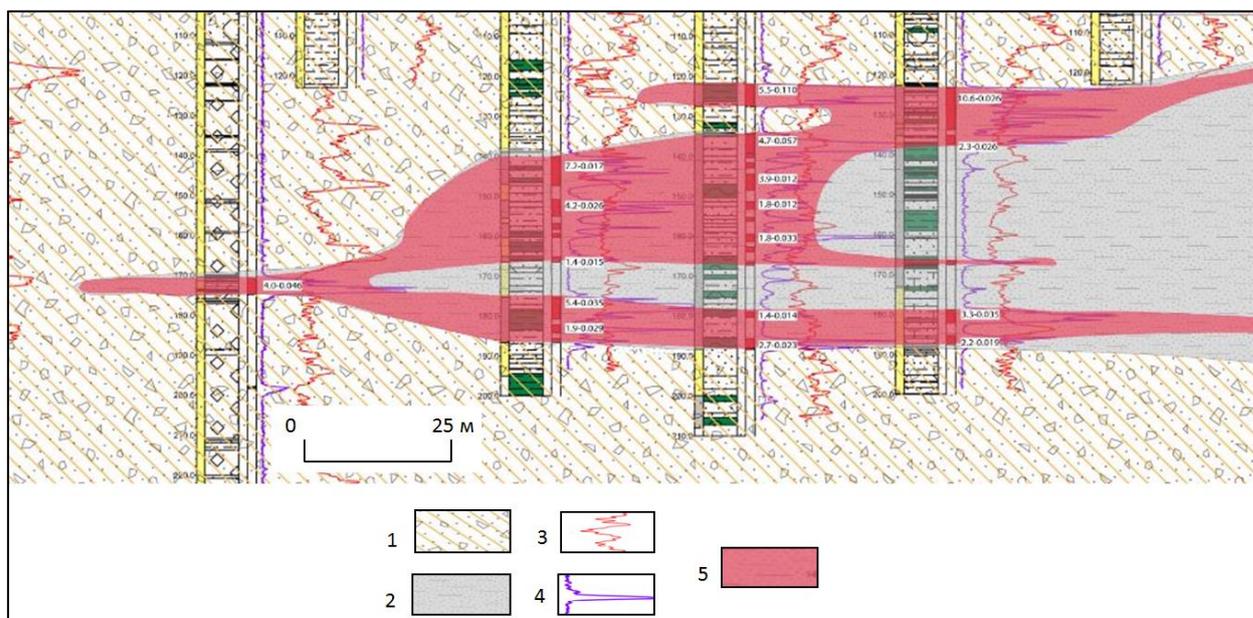


Рис. 3.19. Зона резкого фациального перехода и выклинивания сероцветных отложений в пестроцветные грубообломочные с минерализацией вдоль границы выклинивания. Северная часть месторождения, профиль Пр-86. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 3,4 – кривые электро- и гамма-каротажа; 5 – урановорудные залежи.

Эта зона резкого фациального перехода продолжается на юг, имеет субмеридиональное простирание и отмечена в других разведочных профилях. Вероятно, в качестве конседиментационной структуры это был долгоживущий линейный уступ древнего рельефа.

Другая субпараллельная зона отмечена по резкому сокращению мощности угленосных отложений хухтэгской свиты на южном фланге месторождения (рис. 3.20).

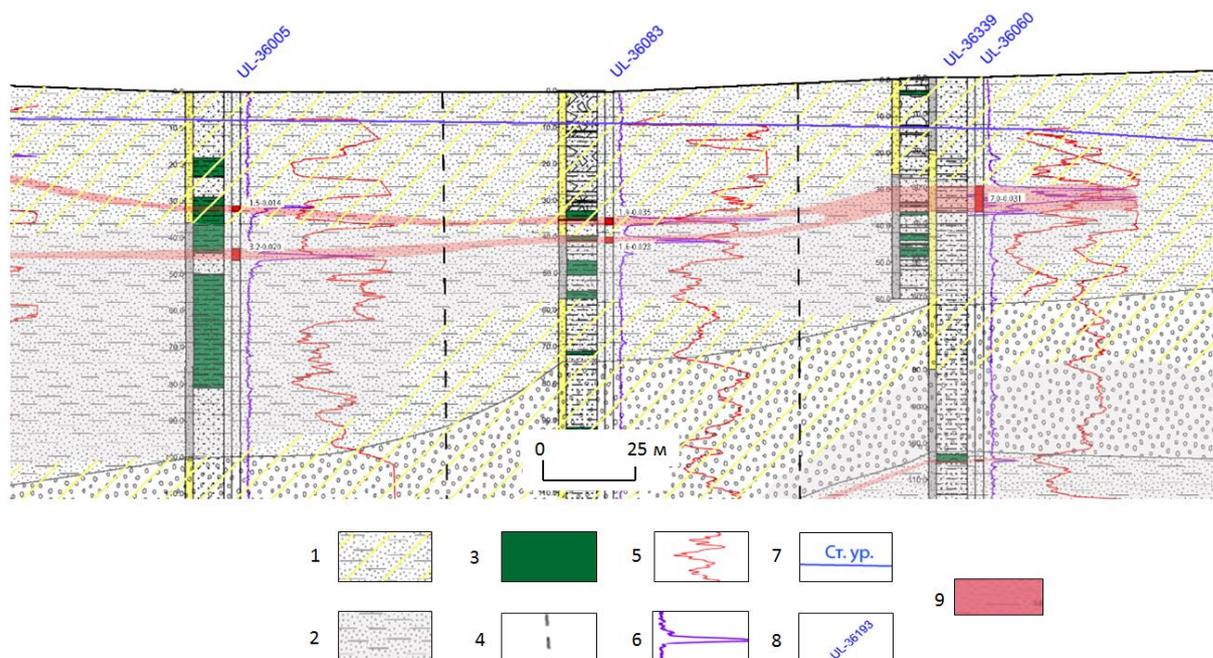


Рис. 3.20. Сокращение мощности сероцветных угленосных отложений в скв. UL-36083 на южном фланге месторождения, Пр-40. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 3 – слабопроницаемые отложения (алевролиты, глины, углистые глины); 4 – предполагаемые разломы; 5,6 – кривые электро- и гамма-каротажа; 7 – статический уровень подземных вод; 8 – поисково-разведочные скважины; 9 – урановорудные залежи;

*Постседиментационные* тектонические нарушения устанавливаются по прямым признакам в кернах буровых скважин. К ним относятся:

- резкие нарушения и изменения субгоризонтального залегания пород, которые устанавливаются по крутым углам встречи до  $50^\circ$  к оси керна слоев с горизонтальной слоистостью (рис.3.21);
- микросмещениями горизонтальных слоев в виде микровзбросов и микросбросов (рис.3.22);
- бороздами скольжения в вертикальных и крутопадающих плоскостях зеркал скольжения;
- зонами тектонического расланцевания осадочных пород (рис.3.23);
- отдельными крутопадающими трещинами скола (рис.3.13, гл.3.2);



Рис. 3.21. Нарушение горизонтального залегания первично горизонтально слоистого мелкозернистого песчаника в отложениях хухтэгской свиты



Рис. 3.22. Микросброс в угленосном песчанике хухтэгской свиты



Рис. 3.23. Зона расланцевания в алевролите и соответствующее эпигенетическое окисление, гл. 135.8 м.

- прожилковой минерализацией пирита, гидрослюд или гидроксидов железа, развитым по структурным зонам (рис. 3.24);



Рис. 3.24. Лимонитизация по тектоническому контакту крупнозернистых песчаников и алевролитов манлайской свиты, гл. 134.4 м.

Указанные признаки разломов проявляются комплексно и наблюдались в керне ряда скважин. В некоторых случаях можно говорить о проявленности межпластовых тектонических нарушений, поскольку признаки деформаций распространены интервально. Вполне возможно присутствие листрических разломов.

Важно подчеркнуть унаследованный характер *пост-* и *конседиментационных* нарушений. Они маркируют совмещенные зоны меридионального и субширотного-северо-восточного простирания.

Не менее важно, что намеченные по анализу керна и фациальным изменениям нарушения находят свое выражение в линейных градиентах современного рельефа и линеаментах, дешифрируемых на детальном космическом снимке (рис. 3.25).

Совокупность геоморфологических и геологических данных позволяет наметить блоковую тектоническую модель месторождения (рис.3.25). Блоки разграничены меридиональными и северо-восточными разломами. Выделяется три блока. На юге имеет место линейно вытянутый блок вдоль предполагаемого северо-восточного разлома. На западе он граничит с

субмеридиональным блоком. Севернее них по узлу пересечения меридионального и северо-восточного нарушений выделяется наиболее опущенный блок, практически охватывающий северный наиболее продуктивный участок месторождения (рис.3.25).

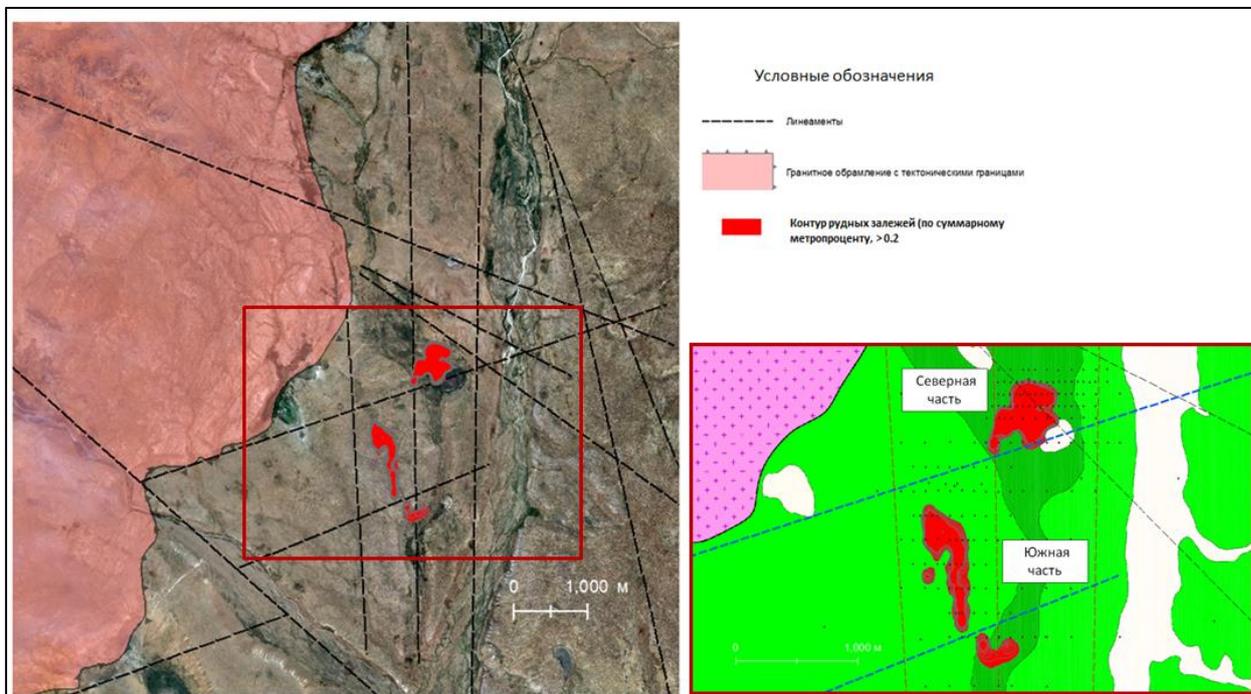


Рис. 3.25. Линеаменты участка месторождения Ульзит дешифрируемые по космическому снимку и блоковая тектоническая модель месторождения

Урановорудные залежи в какой-то мере подчиняются выделенным тектоническим элементам. Так, северо-восточное нарушение практически разделяет месторождение на два рудоносных участка – *Северный* и *Южный*. Намеченные конседиментационные нарушения контролируют зоны относительно повышенной продуктивности.

На одном из участков *Южной* части месторождения установлена относительно высокая продуктивность и компактность распределения уранового оруденения (рис.3.26). Здесь же, по осям флексур осадочной толщи, намечаются крутопадающие тектонические нарушения субмеридионального простирания, которые дешифрируются по космическим снимкам.

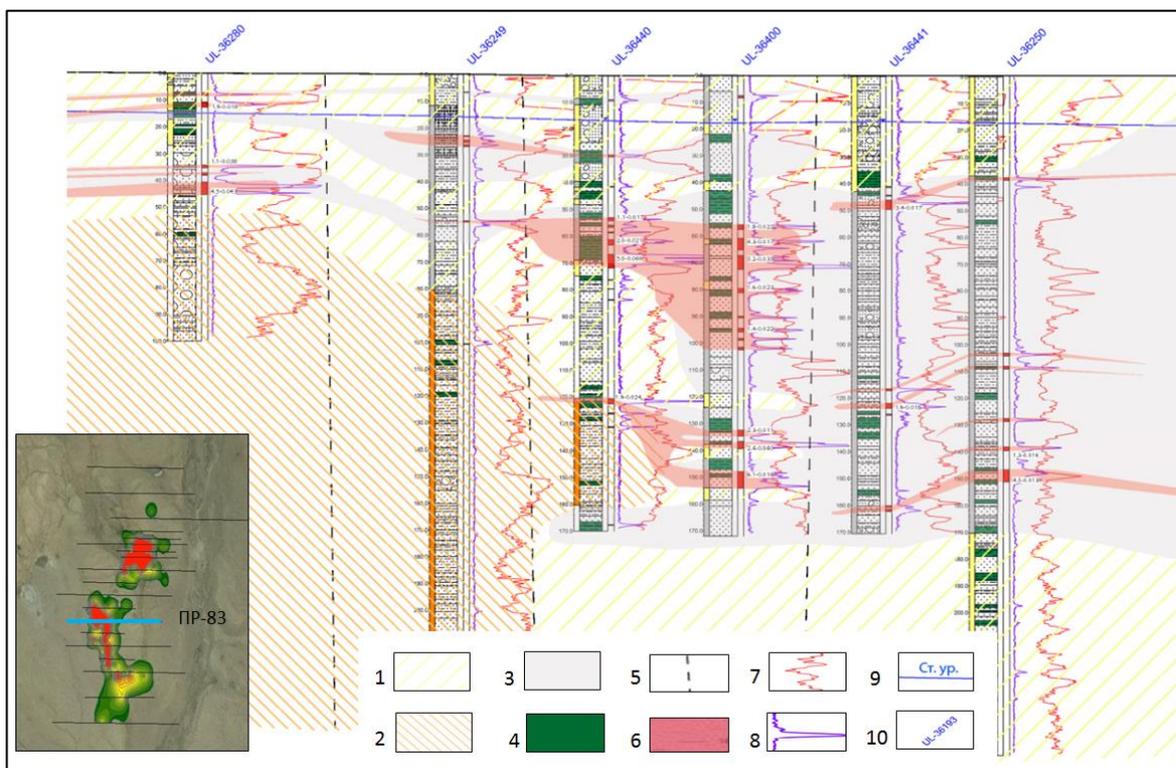


Рис. 3.26. Урановое оруденение в Южной части месторождения предположительно контролируемое вертикальными тектоническими зонами. 1 – эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – пластово-поровое эпигенетическое окисление по красноцветно-пестроцветным грубообломочным отложениям; 3 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 – слабопроницаемые отложения (алевролиты, глины, углистые глины); 5 – предполагаемые разломы; 6 – урановорудные залежи; 7,8 – кривые электро- и гамма-каротажа; 9 – статический уровень подземных вод; 10 – поисково-разведочные скважины.

С учетом выявленных вторичных изменений, таких как аргиллизация, можно предположить важную роль субвертикальных тектонических зон. Возможно, они являлись проводниками для циркуляции растворов и закономерно контролируют урановое оруденение. Значительная роль тектонических зон в гидрогенном урановом рудообразовании отмечена в ряде работ [18,29,45,46,47,48]. На другом гидрогенном месторождении Хайрхан, в Средне-Гобийском районе Монголии также отмечается связь наиболее богатой рудной урановой минерализации с меридиональной тектонической зоной [10].

### 3.4. Выводы

- На месторождении Ульзит впервые установлены параметры и морфология рудных тел, закономерности локализации урановой минерализации и основные рудоконтролирующие факторы.
- Многоярусные рудные тела имеют сложную линзовидную, ленто- и пластообразную, а также роллоподобную и формы обратного ролла.
- Урановая минерализация охватывает весь осадочный меловой разрез в прибортовой части депрессии, не имея четкой стратиграфической принадлежности, однако, сероцветные отложения хухтэгской свиты нижнего мела наиболее рудоносны благодаря наибольшему количеству углефицированного органического вещества в их составе.
- На месторождении выделены *Северная* и *Южная* части, различающиеся по форме, распределению и морфологии ураноносных зон в разрезе, литолого-фациальному составу, эпигенетическим изменениям и продуктивности.
- Основными рудоконтролирующими факторами на месторождении являются резкая литолого-фациальная изменчивость, неоднородность вмещающих пород и эпигенетическое окисление. Урановая минерализация развивается вдоль контрастных переходов вторично окисленных пестроцветно-красноцветных грубообломочных (хорошо проницаемых) отложений к первично сероцветным угленосным озерно-болотным (менее проницаемым) с восстановительными обстановками, связанными со скоплением углистого органического вещества. Границы зон окисления и литолого-фациальных замещений в большинстве случаев субсогласны, что является характерной чертой месторождения.
- Впервые выявлены признаки вторичных изменений и минеральные новообразования в меловых отложениях, характеризующие эволюцию геохимической среды рудовмещающей осадочной толщи. Классифицированы четыре этапа вторичных преобразований –

экзодиагенетический, катагенетический, гидротермальный, эпигенетический, среди которых эпигенетическое окисление определено как важнейшее в процессе формирования урановой минерализации. Акцентируется внимание на зонах вторичного обеления (оглеения) и их пространственную связь с рудными телами и тектоническими зонами, что требует дальнейшего изучения.

➤ При документации керна, анализе буровых данных и интерпретации космических снимков на участке месторождения впервые отмечены и предварительно классифицированы признаки структурных деформаций. Отмечена роль конседиментационных и постседиментационных тектонических зон в формировании благоприятных обстановок рудообразования.

## **Глава 4. Вещественный состав урановых руд месторождения**

### **Ульзит**

Комплексное изучение вещественного состава урановых руд месторождения Ульзит проводилось впервые. Исследованиями установлены специфические свойства уранового оруденения, отличные от руд других известных месторождений Монголии. Предварительные данные, полученные в ходе изучения, необходимы, в первую очередь, для дальнейшего выбора и обоснования оптимальной геотехнологической схемы отработки месторождения [9,82,83,84]. Не менее важной задачей определения минерального и элементного состава руд, являлась реконструкция обстановок рудообразования. Полученные первые данные о вещественном составе руд месторождения Ульзит содержат важную генетическую информацию, необходимую для проведения и корректировки дальнейших поисков и разведки на рудном поле месторождения Ульзит. Апробированная методика комплексного изучения вещественного состава урановых руд

может быть также полезна при изучении других подобных урановых месторождений песчаникового типа в Монголии.

Материалы данной главы положены в обоснование четвертого защищаемого положения – *"Урановые руды месторождения Ульзит представлены тонкодисперсными минералами  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$ , присутствующими как в кристаллической, так и в твердой гелеобразной форме. Основные рудные минералы – скупит, Са-фосфосиликат уранила и Р-содержащий коффинит. Вещественный состав руд месторождения благоприятен для извлечения урана способом СПВ"*.

#### ***4.1. Минеральный и химический состав руд***

Преобладающая часть ураноносных осадочных отложений мелового возраста прибортовой части Ульзитинской депрессии представлена терригенными породами – продуктами ускоренного разрушения близлежащего кристаллического обрамления с последующим импульсным накоплением в рифтогенной структуре.



Рис.4.1. Крупнозернистый гранит юрского возраста из обрамления депрессии – основной исходный материал для формирования рудовмещающих терригенных отложений месторождения Ульзит.

В основном, это дезинтеграты пород гранитного состава (рис.4.1), стремительно аккумуляировавшиеся в условиях циклических поднятий, что определило их литологическую характеристику и минеральный состав.

Из серии образцов керна рудных интервалов опорных скважин были отобраны типичные штуфы рудовмещающих пород для изучения минерального состава. При изучении шлифов определен аркозово-граувакковый состав пород (рис. 4.2) с преобладанием в кластическом материале кварца и полевого шпата, а также обломков гранитов, в меньшей степени пегматитов, гнейсов, амфиболитов и вулканических пород.

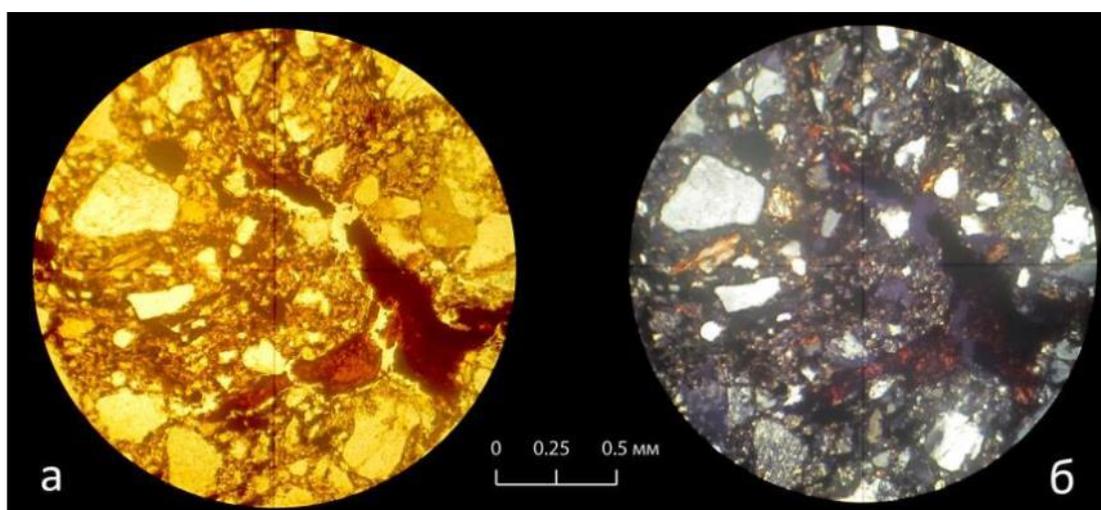


Рис. 4.2. Микрофото шлифа (а – N ||, б – N +) рудовмещающих отложений, гл. 88 м. Углистый аркозово-граувакковый разнозернистый песчаник с базальным алевропесчаным цементом. В составе преобладают кварц, плагиоклаз, каолинит и углистое вещество. Углистое вещество (коричневое и черное) в виде слойков, линз и детрита.

Сортировка кластического материала плохая, обломки минералов и пород в основном угловатые или слабо окатанные, что подтверждает пролювиальный перенос и накопление отложений (рис. 4.3, 4.4).

Цемент пород преимущественно песчано-глинисто-алевритового состава. В ряде случаев в цементе отмечается вторичный каолинит, развивающийся по полевоому шпату (рис. 4.3).

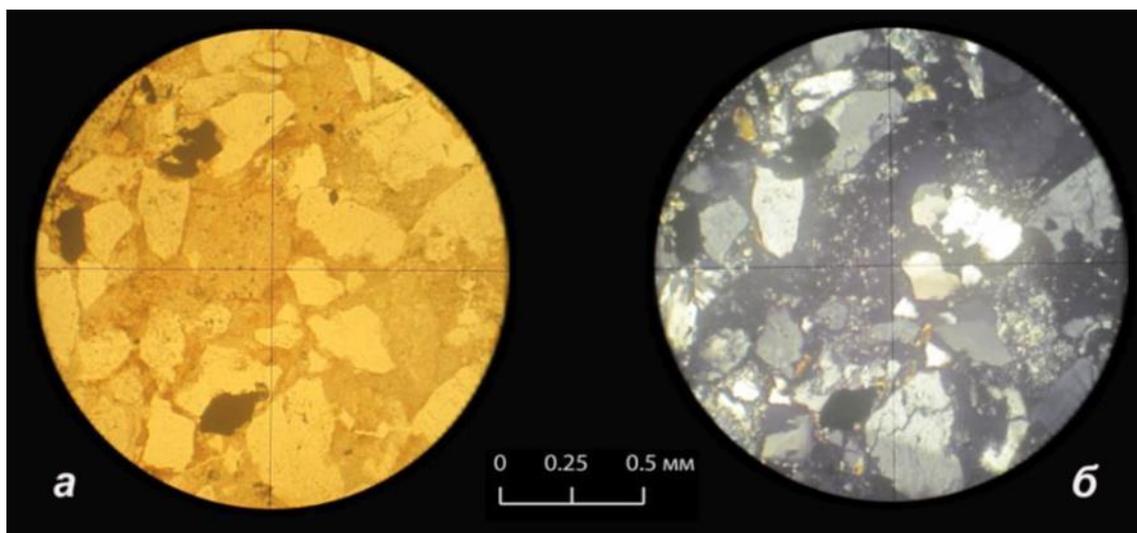


Рис. 4.3. Микрофото шлифа (а – N ||, б – N +) рудовмещающий отложений, гл.138 м. Разнозернистый с угловатыми зернами кварца и калиевого полевого шпата аркозо-граувакковый песчаник с агрегатами гематита по пириту и каймами гидроксидов железа и зернами лейкоксена. В зернах и поровом цементе – каолинит, нераскристаллизованное и плохо раскристаллизованное вулканическое стекло и реликты песчано-алевритового материала

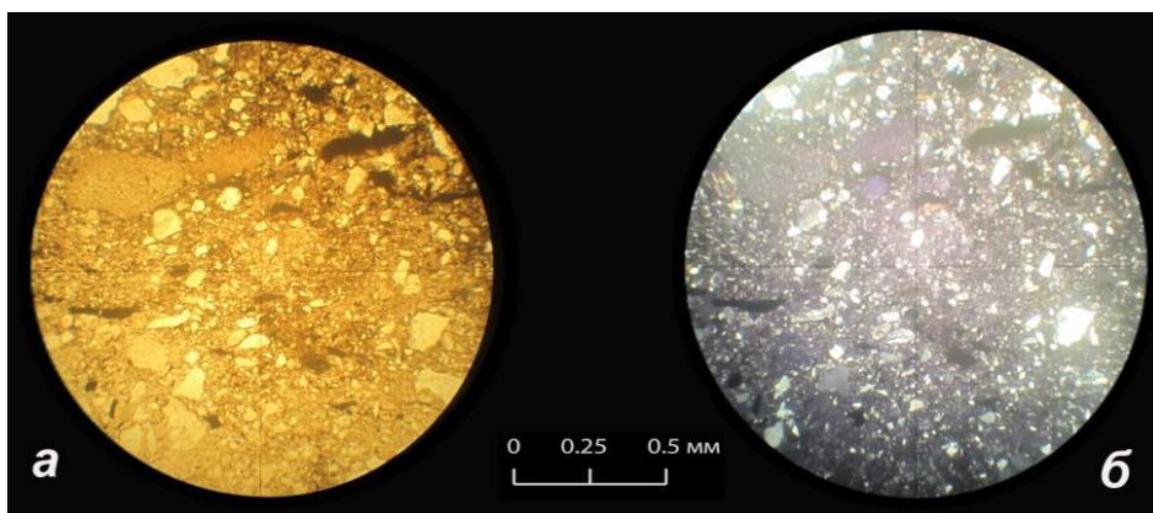


Рис. 4.4. Микрофото шлифа (а – N ||, б – N +) рудовмещающий отложений, гл.174 м. Гравийно (отдельные зерна) - песчано (5%)-алевритистый (40-50%) углистый (5%) плохосортированный аргиллит ( 50-55%). Обломки угловатые кварц-полевошпатовых пород, кварца, кварцитов. Углистое вещество (бурое и черное) в виде линз, цемента и выделений неправильной формы.

В некоторых образцах из низов разреза сероцветных нижнемеловых отложений, в поровом цементе, установлено нераскристаллизованное и слабо

раскристаллизованное вулканическое стекло. По краям его выделений развит цеолит (рис. 4.5).

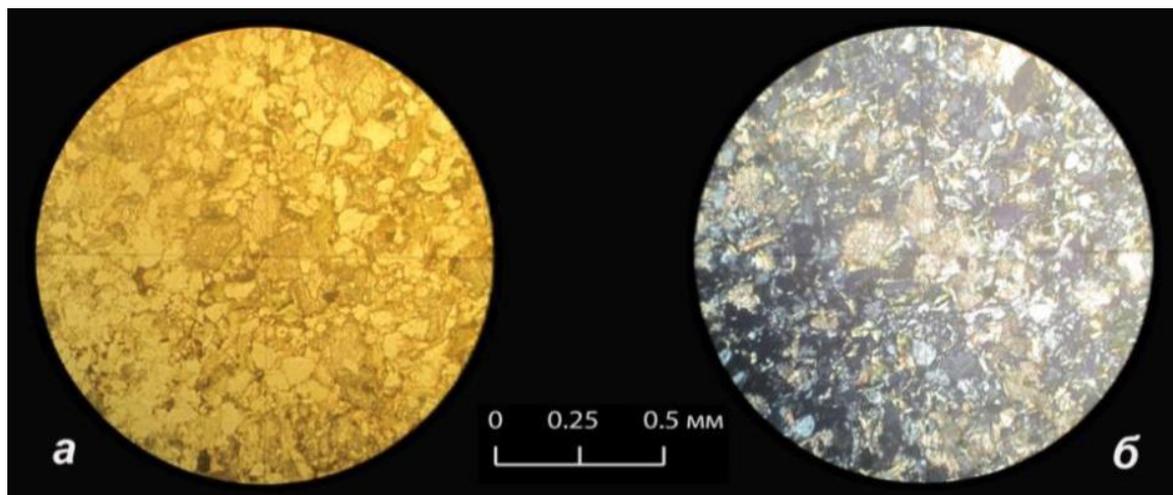


Рис. 4.5. Микрофото шлифа (а – N ||, б – N +) рудовмещающий отложений, гл.95.8 м. Мелкозернистый граувакково-аркозовый песчаник. Угловатые зерна и обломки кварца, калиевого полевого шпата, биотита, хлорита, слюды, лейкоксена, гнейсов, мелкозернистых вулканических пород. В цементе каемочные гидроксиды железа и вулканическое стекло, замещенное цеолитом (жисмондит).

В отдельных образцах имеют место карбонатные новообразования – олигонит  $(\text{Mn,Fe})\text{CO}_3$ . Содержание углефицированного органического вещества, находящегося в виде мелких прослоев, линз и детрита, достигает 5%.

Для нескольких образцов рудовмещающих отложений, изученных в шлифах, выполнен рентгенофазовый анализ, проведенный в лаборатории исследований руд МГРИ-РГГРУ на установке ДРОН-2 (зав. лаб. канд. т.н. М.Ю. Гурвич). Во всех пробах диагностированы минералы, содержания которых составляет более 5 масс % – кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, слюда, каолинит. В единичных образцах установлены манганосидерит (олигонит) и редкий минерал из группы цеолитов – кальциевый водный алюмосиликат жисмондин,  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Минеральный состав рудовмещающих пород также изучался в лаборатории Activation Laboratories Ltd. (Онтарио, Канада). В трех пробах определены, в количествах  $> 5$  масс % кварц, калиевый полевой шпат,

плагиоклаз, глинистые минералы, в числе которых превалирует каолинит, в меньшей степени иллит (гидромусковит). Кроме того, отмечено присутствие пирита, рутила, апатита, кальцита и циркона (табл. 4.1).

*Таблица 4.1*  
*Минеральный состав рудовмещающих отложений месторождения Ульзит в Монголии по данным определения лаборатории Activation Laboratories Ltd., Канада, (СЭМ Quanta 600FMLA, режим регистрации отраженных электронов XBSE)*

| <b>Минерал</b> | <b>ПР-1</b> | <b>ПР-2</b> | <b>ПР-3</b> | <b>Среднее, %</b> |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Кварц          | 14.74       | 24.06       | 15.42       | 18.07             |
| Плагиоклаз     | 15.24       | 25.15       | 20.59       | 20.33             |
| КПШ            | 21.85       | 26.54       | 16.45       | 21.61             |
| Каолинит       | 22.74       | 16.26       | 32.37       | 23.79             |
| Иллит          | 8.44        | 1.62        | 3.58        | 4.55              |
| Глин. м-лы     | 2.25        | 1.56        | 8.11        | 3.97              |
| Кальцит        |             |             | 0.56        | 0.19              |
| Пирит          | 1.86        | 0.35        | 0.36        | 0.86              |
| Рутил          | 4.03        | 3.1         | 0.74        | 2.62              |
| Апатит         | 2.91        | 0.91        | 0.44        | 1.42              |
| Циркон         | 0.15        | 0.02        | 0.16        | 0.11              |

Анализ гранулометрического состава при определении физико-механических свойств шести проб из рудоносных отложений, выполненный в лаборатории «Жонш Уул» (г.Улан-Батор, Монголия), показывает достаточно слабую сортировку терригенного материала рудовмещающих отложений. Как видно из таблицы (табл. 4.2), в составе пород преобладает глинисто-алевритовая фракция, на долю которой приходится до 45%.

*Таблица 4.2*  
*Гранулометрический состав руд из сероцветных отложений уранового месторождения Ульзит, Монголия*

| <b>Гранулометрический класс</b> |                               | <b>%</b> |
|---------------------------------|-------------------------------|----------|
| Галька, 10-5 мм                 |                               | 1        |
| Гравий, 5-2 мм                  |                               | 4        |
| Песок                           | Грубозернистый, 2-1 мм        | 3.6      |
|                                 | Крупнозернистый, 1-0.5 мм     | 8.2      |
|                                 | Среднезернистый, 0.5-0.25 мм  | 11.3     |
|                                 | Мелкозернистый, 0.25-0.1 мм   | 15       |
| Алеврит                         | Тонкозернистый, 0.1-0.05 мм   | 11.9     |
|                                 | Крупнозернистый, 0.05-0.01 мм | 22.3     |
|                                 | Мелкозернистый, 0.01-0.005 мм | 6.5      |
| Глина, < 0.005 мм               |                               | 16.2     |

Таблица 4.3

Результаты химического анализа образцов рудовмещающих пород м-ния  
Ульзит, Монголия

| №п.п.          | № пробы   | Содержание, %   |                 |             |                      |             |
|----------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|----------------------|-------------|
|                |           | FeO             | CO <sub>2</sub> | ΣS          | S (so <sub>3</sub> ) | S(s)        |
| 1              | 36280-011 | <0.25           | <0.40           | 3.79        | 0.19                 | 3.6         |
| 2              | 36280-018 | <0.25           | <0.40           | <0.10       | <0.10                | -           |
| 3              | 36280-021 | <0.25           | <0.40           | 0.21        | 0.02                 | 0.19        |
| 4              | 36282-044 | <0.25           | <0.40           | 3.48        | 0.99                 | 2.49        |
| 5              | 36282-045 | <0.25           | <0.40           | 1.35        | 0.11                 | 1.24        |
| 6              | 36329-022 | <0.25           | <0.40           | 1.27        | 0.05                 | 1.22        |
| 7              | 36339-008 | <0.25           | <0.40           | 0.11        | <0.10                | -           |
| 8              | 36340-033 | <0.25           | <0.40           | 0.34        | 0.03                 | 0.31        |
| <b>Среднее</b> |           | <b>&lt;0.25</b> | <b>&lt;0.40</b> | <b>1.33</b> | <b>0.21</b>          | <b>1.13</b> |

Химический и рентгено-флуоресцентный анализы (табл 4.3, 4.4) восьми керновых проб, взятых из рудных интервалов, выполнены в Центральной Геологической лаборатории Монголии (г.Улан-Батор).

Таблица 4.4

Результаты рентгено-флуорисцентного анализа образцов рудовмещающих пород м-ния Ульзит, Монголия

| №п.п.          | № пробы   | Содержание, %    |                                |             |             |             |
|----------------|-----------|------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                |           | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ΣFe         | MgO         | CaO         |
| 1              | 36280-011 | 63.89            | 12.72                          | 6.68        | 0.18        | 0.78        |
| 2              | 36280-018 | 74.14            | 13.76                          | 0.99        | 0.27        | 0.96        |
| 3              | 36280-021 | 73.18            | 14.15                          | 0.96        | 0.2         | 0.77        |
| 4              | 36282-044 | 55.73            | 14.95                          | 5.43        | 0.18        | 1.07        |
| 5              | 36282-045 | 68.44            | 15.62                          | 2.5         | 0.18        | 0.94        |
| 6              | 36329-022 | 61.34            | 16.33                          | 1.77        | 0.22        | 1.05        |
| 7              | 36339-008 | 74.39            | 14.43                          | 0.55        | 0.06        | 0.42        |
| 8              | 36340-033 | 71.01            | 16.05                          | 1.35        | 0.55        | 1.22        |
| <b>Среднее</b> |           | <b>67.77</b>     | <b>14.75</b>                   | <b>2.53</b> | <b>0.23</b> | <b>0.90</b> |

Результаты анализов свидетельствуют об алюмосиликатном составе рудовмещающих пород (SiO<sub>2</sub> ~ 68%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~ 15%) при общей низкой карбонатности отложений < 0.4 %. В двух пробах (№1 и 4) отмечается повышенное содержание ΣFe до 5.4-6.7 % и ΣS –до 3.5-3.8%, что обусловлено присутствием эпигенетического пирита.

## ***4.2. Геохимические и радиогеохимические характеристики руд***

В связи с тем, что бескерновое бурение с сопутствующим комплексом ГИС является спецификой поисков и разведки гидрогенных месторождений урана [9,62,63,64,83,84], отбор керновых проб на месторождении Ульзит проводился лишь по отдельным рудным интервалам для контроля качества интерпретации гамма-каротажа. Поэтому анализ геохимического поля по всей мощности изученного бурением осадочного рудовмещающего разреза остается недоступен. Имея данные лишь по выборочным рудным интервалам, можно судить только о геохимических ассоциациях элементов сопровождающих урановое оруденение.

Всего на месторождения пробурено порядка 250 скважин, в 25 из них получен керн по отдельным рудным интервалам с последующим пробоотбором, с учетом литолого-геохимических характеристик. Непосредственно на участке месторождения отобрано ~ 800 керновых проб.

Все керновые пробы проанализированы на 53 элемента методом ICP-MS в филиале лаборатории Actlabs Asia LLC (г. Улан-Батор, Монголия) с разрешающей способностью метода 0.1 ppm по большинству элементов, включая уран. Среди элементов, составляющих аномальный геохимический фон в участках рудной минерализации, можно отметить молибден (до 4050 ppm в единичной пробе, в среднем ~300 ppm), рений (до 0.02-0.3ppm), ванадий (до 520 ppm), и элементы редкоземельной группы (La- до 360 ppm, Y- до 530 ppm, Ce- до 80 ppm, Nd- до 270 ppm). Среди элементов-спутников урана наиболее устойчивая корреляционная связь отмечена для молибдена и рения (рис. 4.6).

Повышенные концентрации сопутствующих элементов встречаются редко и не достигают концентраций значительно превышающих содержания урана. В большинстве случаев попутная добыча сопутствующих элементов методом СПВ не представляется возможной ввиду различной химической

технологии и экономической целесообразности [62], что характерно и для руд месторождения Ульзит.

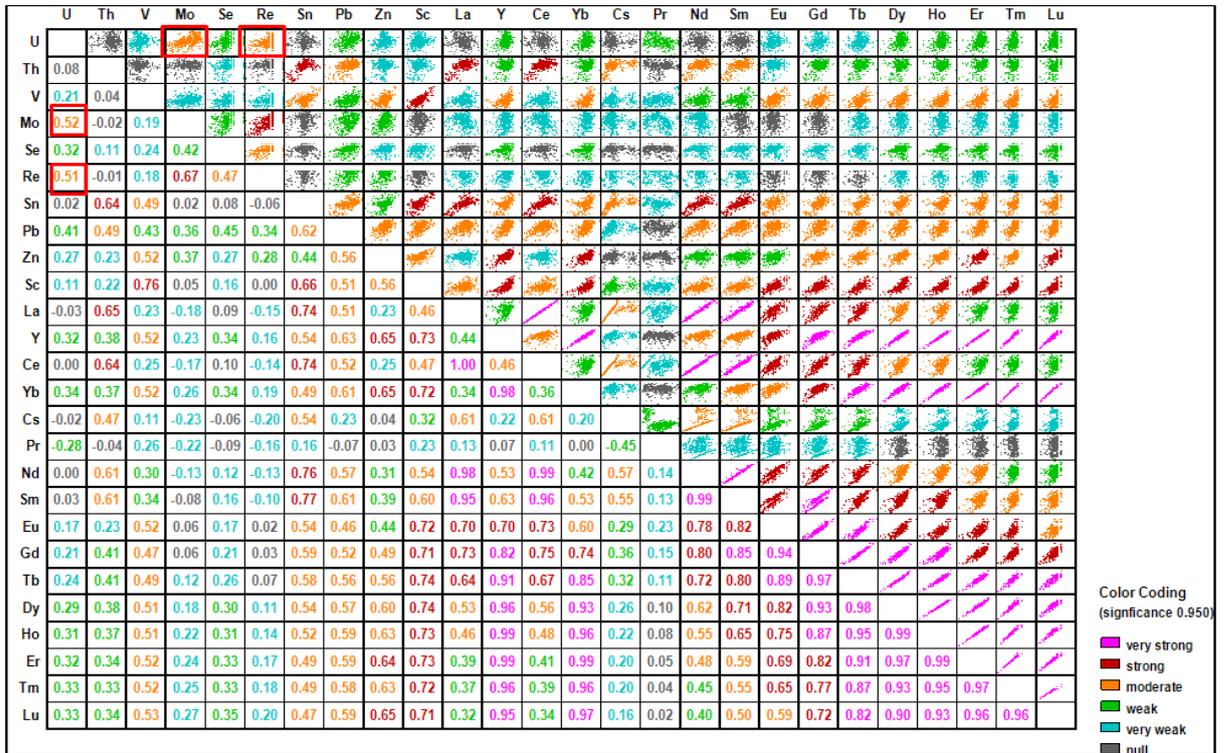


Рис. 4.6. График корреляции между химическими элементами по результатам ICP-MS для керновых проб с содержанием урана >100 ppm

Существенное влияние на достоверность результатов геофизического опробования – основного метода выделения рудных интервалов при разведке урановых месторождений песчаникового типа [63,64], оказывают радиологические свойства руд, что также влияет и на методику интерпретации радиометрических данных. К таким свойствам относятся:

- радиоактивное равновесие между ураном и радием;
- радиоактивное равновесие между радием и радоном;
- наличие на месторождении радиевых ореолов;
- наличие в рудах других, кроме радия, природных гамма-излучателей.

По уровню значимости и влиянию на интерпретацию геофизических данных были предварительно оценены два свойства – радиоактивное

равновесие между ураном и радием и содержание в рудах других гамма-излучателей, в первую очередь тория и калия.

Радиоактивное равновесие между ураном и радием изучалось по величине коэффициента радиоактивного равновесия ( $K_{pp}$ ), определяемого из следующего соотношения:

$$K_{pp} = C_{Ra}/C_U,$$

где  $C_{Ra}$  – содержание радия в % равновесного урана,  $C_U$  – содержание урана в %.

Величина  $K_{pp}$  менее 1.0 свидетельствует о недостатке в пробе радия. При интерпретации в подобных обстановках содержание, полученное по гамма-каротажу, необходимо увеличить, чтобы привести результаты измерений к равновесной обстановке. Значение  $K_{pp}$  больше 1.0 свидетельствует о недостатке в пробе урана. При приведении результатов гамма-каротажа к равновесной обстановке, содержания полученные по каротажу в этом случае необходимо уменьшить [64]. Для определений радия и урана использовались керновые пробы, отобранные из интервалов бурения с выходом керна не менее 75%, с учетом геологических неоднородностей разреза. Объем радиологического опробования на месторождении составил 148 проб, что позволяет оценить предварительно среднее значение  $K_{pp}$  по месторождению и его связь с содержанием радия.

Аналитические работы выполнялись в Центральной Аналитической Лаборатории (ЦАЛ) Байкальского Филиала «Сосновгеология», аккредитованной на производство такого вида анализов (аттестат № РОСС RU.0001.51154). Для анализов урана в керновых пробах применялась рентгеноспектральная методика (НСАМ-420-РС), реализованная на анализаторах АРФ-7. Для анализов радия применялся комплексный геофизический метод, основанный на определении радия по накоплению радона с поправками за торий по данным рентгено-спектрального анализа (НСАМ-417 ЯФ/РС).

Для оценки  $K_{pp}$  применялась стандартная разведочная практика использования значений частного от деления суммарного для сечения метропроцента радия на суммарный метропроцент урана по каждому полному рудному сечению. Всего проанализировано 17 рудных сечений (148 проб) суммарной длиной 59.9 м, ранжированных по классам содержания радия (табл. 4.5).

*Таблица 4.5*

*Результаты оценки зависимости  $K_{pp}$  от содержания радия в рудах месторождения Ульзит*

| №№ п.п. | Классы С радия, 10 <sup>-4</sup> % |     | Среднее<br>С радий, 10 <sup>-4</sup> % | Кол-во<br>сечений | Средний<br>$K_{pp}$ |
|---------|------------------------------------|-----|--|-------------------|---------------------|
|         | от                                 | до  |  |                   |                     |
| 1       | 100                                | 250 | 211.8                                  | 3                 | 0.973               |
| 2       | 251                                | 400 | 305.4                                  | 5                 | 0.926               |
| 3       | 401                                | 550 | 444.3                                  | 5                 | 0.912               |
| 4       | более 550                          |     | 943.4                                  | 4                 | 1.049               |

Для каждого класса содержаний радия рассчитан средний  $K_{pp}$ , а для месторождения в среднем он составил 0.959.  $K_{pp}$  характеризуется низкой вариацией значений 11.8 % отн., что позволяет использовать единое среднее значение  $K_{pp}$  для интерпретации гамма-каротажа по всему месторождению.

Дополнительно проведен анализ зависимости  $K_{pp}$  от глубины залегания рудного сечения, используя отметку кровли сечения по стволу скважины (табл. 4.6). Установлено, что закономерная изменчивость  $K_{pp}$  по глубине залегания рудного сечения отсутствует.

*Таблица 4.6*

*Зависимость  $K_{pp}$  от глубины залегания рудного сечения*

| №№ п.п. | Классы глубины, м |     | Средняя<br>глубина, м | Количество<br>сечений | Средний<br>$K_{pp}$ |
|---------|-------------------|-----|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|         | от                | до  |                       |                       |                     |
| 1       | менее 40          |     | 25.0                  | 3                     | 0.886               |
| 2       | 41                | 60  | 48.0                  | 5                     | 0.936               |
| 3       | 61                | 80  | 66.0                  | 4                     | 1.084               |
| 4       | 81                | 100 | 88.0                  | 2                     | 0.994               |
| 5       | более 100         |     | 132.0                 | 3                     | 0.879               |

То же самое выполнено для анализа зависимости  $K_{pp}$  от мощности рудного сечения (табл. 4.7). Из приведенной ниже таблицы видно, что, несмотря на видимую тенденцию уменьшения  $K_{pp}$  в зависимости от увеличения мощности сечения, говорить о значимой изменчивости  $K_{pp}$  не следует.

Таблица 4.7

*Зависимость  $K_{pp}$  от мощности рудного сечения*

| №№<br>п.п. | Классы мощностей, м |     | Средняя<br>мощность, м | Количество<br>сечений | Средний<br>$K_{pp}$ |
|------------|---------------------|-----|------------------------|-----------------------|---------------------|
|            | от                  | до  |                        |                       |                     |
| 1          | менее 1.5           |     | 0.98                   | 3                     | 0.975               |
| 2          | 1.5                 | 3.0 | 2.52                   | 6                     | 0.960               |
| 3          | 3.0                 | 5.0 | 4.31                   | 5                     | 0.962               |
| 4          | более 5.0           |     | 6.77                   | 3                     | 0.936               |

Следует отметить, что при анализе радиоактивного равновесия были отмечены несколько единичных проб с высоким содержанием радия до 0.056-1.0 % с аномально высокими значениями  $K_{pp}$  1.32-2.13.

По результатам проведенной оценки радиоактивного равновесия между ураном и радием получены следующие основные выводы:

- Руды месторождения практически равновесны, коэффициент радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  близок к 1.0;
- $K_{pp}$  характеризуется низкой природной вариацией, определяемой отсутствием закономерной изменчивости  $K_{pp}$  по глубине залегания и по мощности рудного сечения, в классах руд с разным содержанием радия;
- На участке месторождения выявлены единичные сечения с аномально высоким  $K_{pp}$ , что ориентирует на дальнейшее продолжение изучения радиологических свойств руд, учитывая незначительный объем проведенного опробования на радиологию.

Влияние других природных гамма-излучателей на общий радиогеохимический фон оценивалось по содержанию тория и калия. В рудах гидrogenных месторождений урана обычно не содержится высоких

концентраций тория и калия, способных значимо влиять на определение содержания урана по интегральному гамма-каротажу и на оценку среднего содержания урана в месторождении, залежи или блоке. Однако, из-за низкого бортового содержания урана, обычно равного на таких месторождениях 0.010 %, влияние тория и калия бывает значимым при выделении границ рудных сечений.

Содержание тория изучено по результатам анализа керновых проб методом ICP-МС. Всего на участке месторождения проанализировано 565 керновых проб на торий, что вполне достаточно для вывода о распространении этого элемента. Среднее содержание тория в рудах составило 0.00231% (табл. 4.8).

Анализ содержаний тория показал, что элемент присутствует практически в постоянной концентрации в разных по содержаниям урана классах руд месторождения. Среднее содержание тория невысоко и характеризуется низкой изменчивостью 17% отн. Между концентрациями урана и тория в рудах месторождения отсутствует статистическая связь. В целом, такая концентрация тория характерна для осадочных пород, сформировавшихся при разрушении пород гранитного состава.

Таблица 4.8

*Распределение тория в рудах месторождения Ульзит*

| №№ п.п. | Классы содержаний урана, % | Количество проб | Среднее С урана, % | Среднее С тория, % |
|---------|----------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 1       | менее 0.0005               | 51              | 0.00023            | 0.00165            |
| 2       | 0.0005 – 0.0010            | 38              | 0.00072            | 0.00156            |
| 3       | 0.0010 – 0.0050            | 176             | 0.00278            | 0.00197            |
| 4       | 0.0050 – 0.0100            | 133             | 0.00727            | 0.00179            |
| 5       | 0.0100 – 0.0200            | 86              | 0.01408            | 0.00227            |
| 6       | 0.0200 – 0.0300            | 31              | 0.02440            | 0.00263            |
| 7       | 0.0300 – 0.1000            | 32              | 0.05140            | 0.00212            |
| 8       | более 0.1000               | 18              | 0.21550            | 0.00230            |
|         | Итого                      | 565             |                    |                    |
|         | Среднее                    |                 |                    | 0.00197            |
|         | Среднее в рудах            |                 |                    | 0.00231            |

Содержание калия в рудах месторождения изучено на основе результатов анализа 148 керновых проб с рудной урановой минерализацией методом пламенной фотометрии, выполненной в Центральной Аналитической Лаборатории (ЦАЛ) Байкальского Филиала «Сосновгеология». Среднее содержание калия составило 3.4 %.

С учетом гамма-эквивалентов тория и калия, и вычисленных средних концентраций этих элементов в рудах месторождения, рассчитан суммарный вклад тория и калия в % равновесного урана в данные интегрального гамма-каротажа:

$$P \text{ сумм.} = 0.4 * 0.00231 + 0.0002 * 3.4 = 0,001604 (\% \text{ равн.урана}).$$

Хотя суммарный вклад тория и калия в результаты гамма-каротажа низок и не требует учета при расчете средних рудных концентраций урана, но его влияние является значимым при выделении границ рудных сечений. В данном случае относительная доля суммарного вклада элементов составляет 16.04 %. По этой причине ее необходимо учитывать, устанавливая бортовую концентрацию при выделении границ рудных сечений в 0.0116 % вместо принятой 0.010%.

Для руд месторождения Ульзит изучение радиологических свойств носит предварительный характер. Тем не менее результаты позволяют обосновать правильность подсчета запасов на месторождении по данным интерпретации интегрального гамма-каротажа.

### ***4.3. Формы урановой минерализации***

В большинстве случаев форма нахождения урановой минерализации в рудах песчаниковых месторождений остаётся неизученной ввиду низких содержаний урана 0.0n-0.n% и тонкодисперсных форм его выделения, что не позволяет проводить точное определение минеральных фаз доступными оптико-минералогическими методами. Тем не менее, минералогическая характеристика руд важна не только для выбора оптимальной геотехнологической схемы добычи и переработки руд, но и для уточнения

генетических вопросов рудообразования. Усовершенствованные в последнее десятилетие прецизионные аналитические методы позволяют изучать с высокой долей достоверности ранее неопределяемые тонкие формы урановой минерализации, что с успехом апробировано для руд ряда гидрогенных месторождений России, Казахстана и других стран при изучении их вещественного состава [31,32,33,34,35,36,115].

Изучение фазового состава рудной минерализации месторождения Ульзит выполнено впервые [20]. Исследования проведены доктором г.-м.н. Ольгой Александровной Дойниковой в лаборатории кристаллохимии минералов ИГЕМ РАН методом аналитической сканирующей электронной микроскопии (АСЭМ) на электронном микроскопе JSM-5610 с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) по образцам, отобранным автором.

Методика применения электронной микроскопии с ЭДС позволяет проводить качественный и полуколичественный анализ с рельефных образцов и количественный анализ с полированных образцов (определение элементов от Li до U) [32].

При изучении тонкой рудной минерализации песчаникового типа в слабо литифицированных осадочных породах важна роль пробоподготовки образцов для электронно-микроскопических исследований. Опыт изучения рыхлых урановых руд палеодолинных (палеорусловых) месторождений России АСЭМ-методами показывает, что наиболее эффективный приём пробоподготовки – отборка под биноклем темноокрашенных зёрен. Таким образом, происходит своеобразное обогащение образца путем исключения кварцевых и полевошпатовых зёрен из изучаемой пробы. Опыт изучения темных зёрен отборки с использованием полуколичественного анализа показал достаточно высокую степень надёжности определения минеральной формы урана [35,36].

Детальное изучение ураново-рудной минерализации месторождения Ульзит проведено по трем типичным образцам, различающимся по

прочности, окраске и размеру обломочного материала. Ускоряющее напряжение 25 kV. Локальность анализа в точке – от 7 мкм для легкой матрицы и до 1 мкм для тяжелой (матрицы с большим средним атомным номером). Результаты полуколичественного анализа рельефных образцов нормированы к 100%.

Пробы ПР-1, ПР-2 и ПР-3 взяты на различных уровнях рудовмещающего разреза, с глубины 69.9, 49.0 и 173.9 м соответственно (см. рис.4.7).

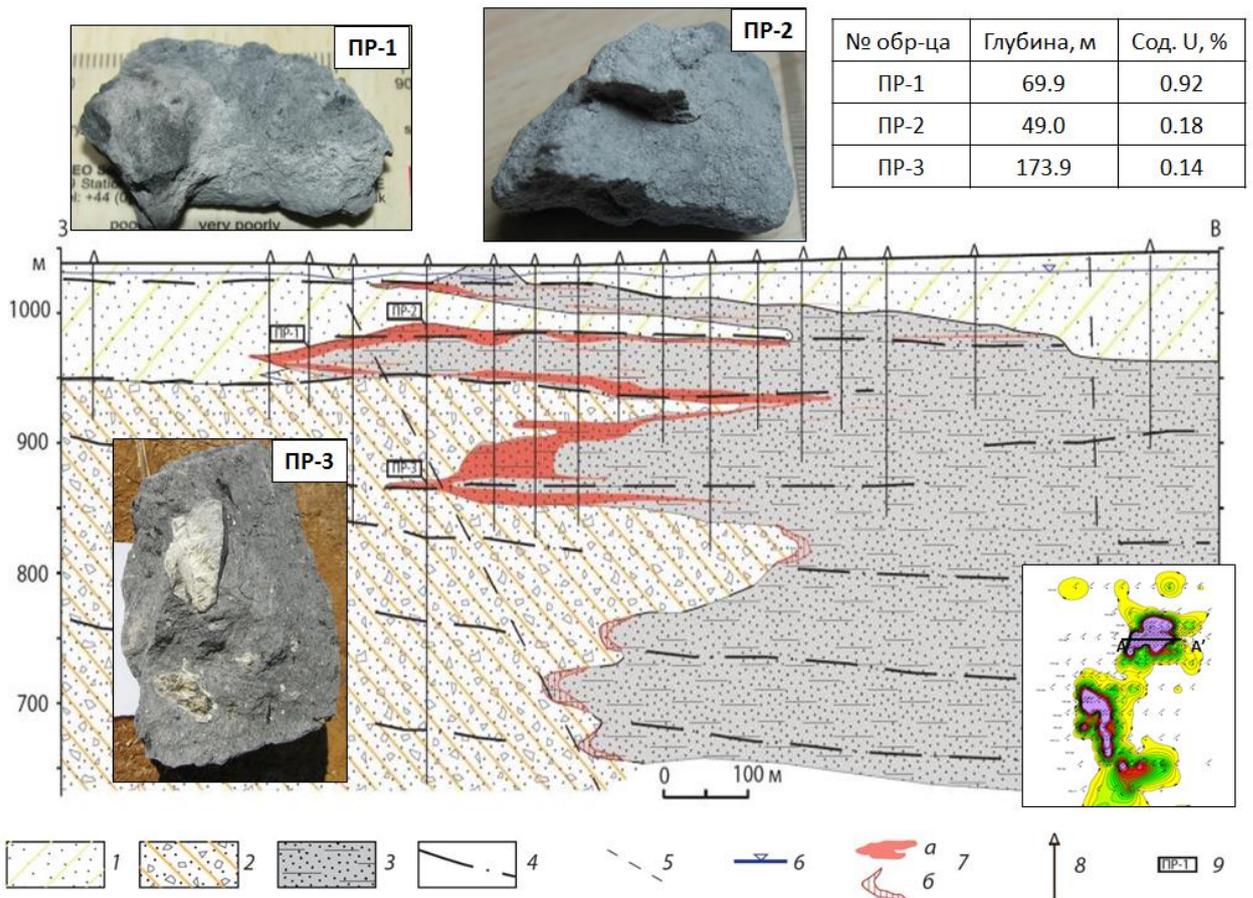


Рис. 4.7. Схематический геологический разрез меловых рудовмещающих отложений месторождения Ульзит и места отбора проб для электронно-микроскопических исследований.

1 – поверхностное и грунтовое эпигенетическое окисление по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 – пластово-поровое эпигенетическое окисление по красноцветно-пестроцветным грубообломочным отложениям конуса выноса; 3 – сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 – внемасштабные линии уровней водоупорных пород (глины, алевролиты, бурые угли и углистые глины) по керну и электрокаротажу; 5 – предполагаемые разломы; 6 – статический уровень подземных вод; 7 – урановорудные залежи: а – разведанные, б – прогнозируемые; 8 – поисково-разведочные скважины; 9 – позиция проб для изучения вещественного состава.

Образец ПР-1. Светло-серый мелко-тонкозернистый слабо литифицированный алевропесчаник на глинистом цементе, обогащенный тонкодисперсным углефицированным органическим веществом. Наблюдаются тонкие прослои темно-серого углефицированного алеврита и включения фрагментов углефицированного органического вещества. Присутствует мелкозернистый пирит вокруг органических фрагментов.

Образец ПР-2. Светло-серый мелкозернистый хорошо сортированный слабо литифицированный алевропесчаник с небольшим количеством тонкодисперсного углефицированного органического вещества.

Образец ПР-3. Темно-серый плохо сортированный песчаник с включениями выветрелых угловатых обломков гранитных пород до 3-4 см, присутствует глинистый цемент, тонкодисперсное углефицированное органическое вещество, обломки углефицированной флоры, немного мелкокристаллического пирита.

В рудах месторождения Ульзит установлены две основные формы урановой минерализации близкие по химическому составу, но различные по степени раскристаллизации вещества – кристаллическая и гелеподобная нераскристаллизованная.

*Кристаллическая* форма рудного минерала фиксируется во всех изученных образцах и имеет сходный фосфосиликатный состав. Наиболее «чистая» беспримесная фаза установлена в образце ПР-3, где состав рудного минерала установлен в крупном выделении (~1×2 мм), которое при отборке под биноклем выглядело как натёчная светло-зеленая корочка в глинистом фрагменте (3×5 мм) серого цвета. Визуально колломорфная корочка с почковидными формами под электронным микроскопом представляет собой достаточно плотную кристаллическую массу спутано-пластинчатого облика (рис. 4.8а). Формы растрескивания этого корковидного образования и морфология выделения указывают на первоначально колломорфное состояние вещества.

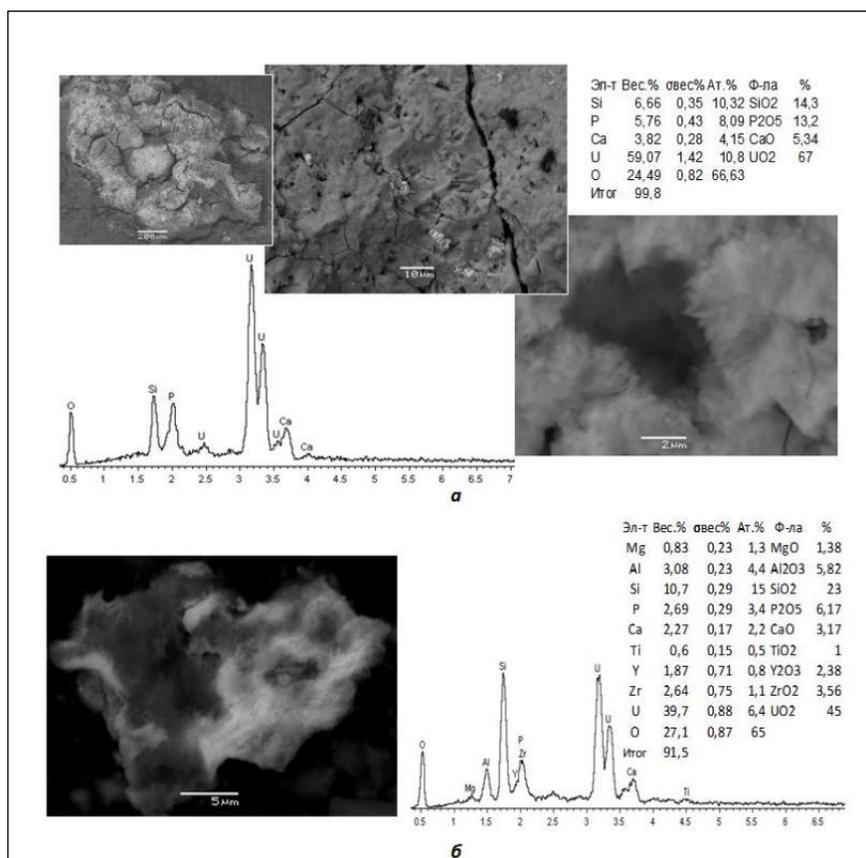


Рис. 4.8. Образец ПР-3. а – Корочка фосфосиликата урана и последовательное её увеличение в середине центральной «почки»; б – тот же тонкопластинчатый минерал (светлое) развивается по глинистой частице. Здесь и далее изображение в отраженных электронах, спектры состава (шкала значений в КэВ) и соответствующие результаты полуколичественного ЭДС анализа.

При больших увеличениях виден пористый характер выделения, отмечены включения в нём галенита и едва различимые в массе редкие субмикронные кристаллы пирита. Основные элементы рудного минерала – U, Ca, P, Si. Этот же тонкопластинчатый урановый минерал нарастает на мелкую частицу глинистого материала и цементирует его (рис. 4.8б).

В составе тонкопластинчатого минерала, установленного во всех образцах, в основном, выдерживаются атомные соотношения  $(U+Ca):P=2:1$ . В анионном составе Si преобладает над P. Атомные соотношения главных минералообразующих элементов близки к идеализированной формуле богатого фосфором коффинита  $U,Ca[(Si,P)O_4]$ , установленного в составе руд палеодолинного месторождения Далматовское, Среднее Зауралье, Россия

[35,102]. Однако, тонкопластинчатая морфология микрокристаллов существенно отличается от форм, характерных для коффинита.

Зелёная окраска рассматриваемого минерала весьма характерна как для  $U^{4+}$ -минералов, так и для урановых слюдок (Cu-содержащих). По анионному составу (Si, P) этот минерал не относится к урановым слюдкам. Тонкопластинчатая форма кристаллов известна для  $U^{4+}$ -фосфата лермонтовита  $UPO_4OH \cdot nH_2O$ , но в его составе отсутствует кремний. Поэтому определение данного пластинчатого минерала исключительно по составу, без привлечения других диагностических методов, позволяет диагностировать его не точнее, чем кальциевый фосфосиликат урана. Пластинчатая морфология заставляет предполагать шестивалентную форму рудного элемента.

*Кристаллическая* минеральная фаза фосфосиликатного состава с примесью S в спектре диагностирована в образце ПР-1. В светло-сером материале образца резко преобладает мелко раскрошенная алюмосиликатная масса с примесью сульфидов, углистых обломков, Ca-сульфата, апатита и др. Встречаются частицы рудной минерализации того же U, Si, P, Ca состава (до  $n \cdot 10 \mu m$ ). Этой рудной фазой обогащены зальбандовые поверхности углистого слоя (рис.4.9).

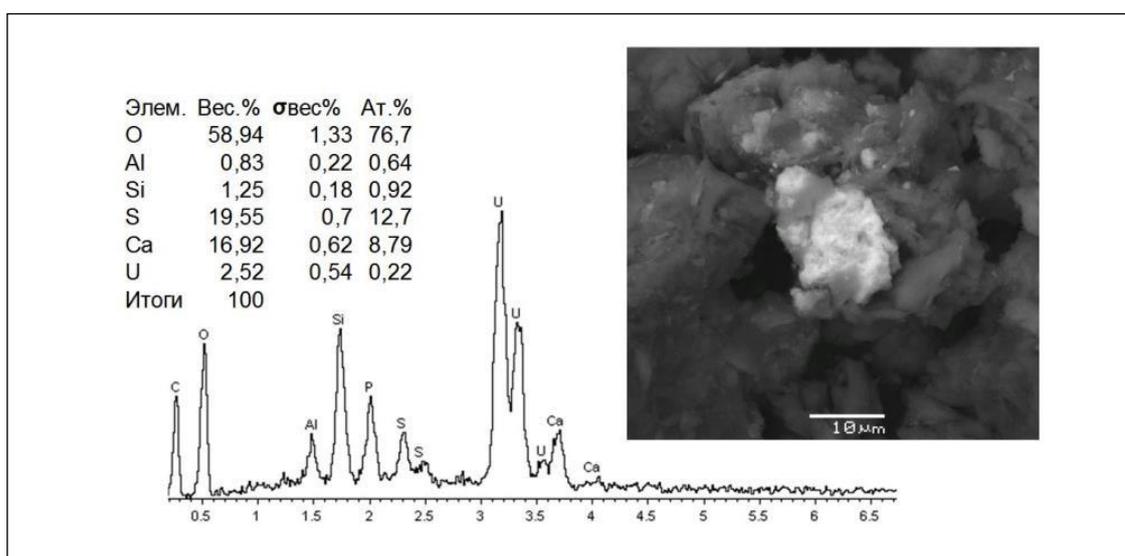


Рис. 4.9. Образец ПР-1. Частица урановой фазы (яркое) среди алюмосиликатного материала. Спектр состава и соответствующий результат полуколичественного ЭДС анализа.

В спектрах состава урановой фазы по соотношению с главным минералообразующим элементом ураном меняется величина пиков Al и Si, а также S и Ca, что позволяет говорить о различном вкладе в результат анализа окружающих алюмосиликатов, сульфидов Fe и/или CaSO<sub>4</sub>. При отсутствии Al соотношение пиков Si и P одинаково, что говорит о минералообразующем характере кремния и фосфора. При значительном уменьшении спектрального вклада пирита резко уменьшается пик S, однако, здесь нельзя исключить возможный вклад от окружающих частиц гипса. Поэтому вхождение в состав рудного минерала серы и величина вклада кальция остается под вопросом.

В образцах также присутствует *гелеобразная нераскristализованная* форма урановой минерализации. Эти неоднородные рудные выделения состоят из слабо дифференцированного уранового материала с примесями различных минеральных компонентов. Присутствие различных пропорций алюмосиликатной и сульфидной составляющих в составе этих частиц колломорфного облика представлено на спектрах (рис. 4.10).

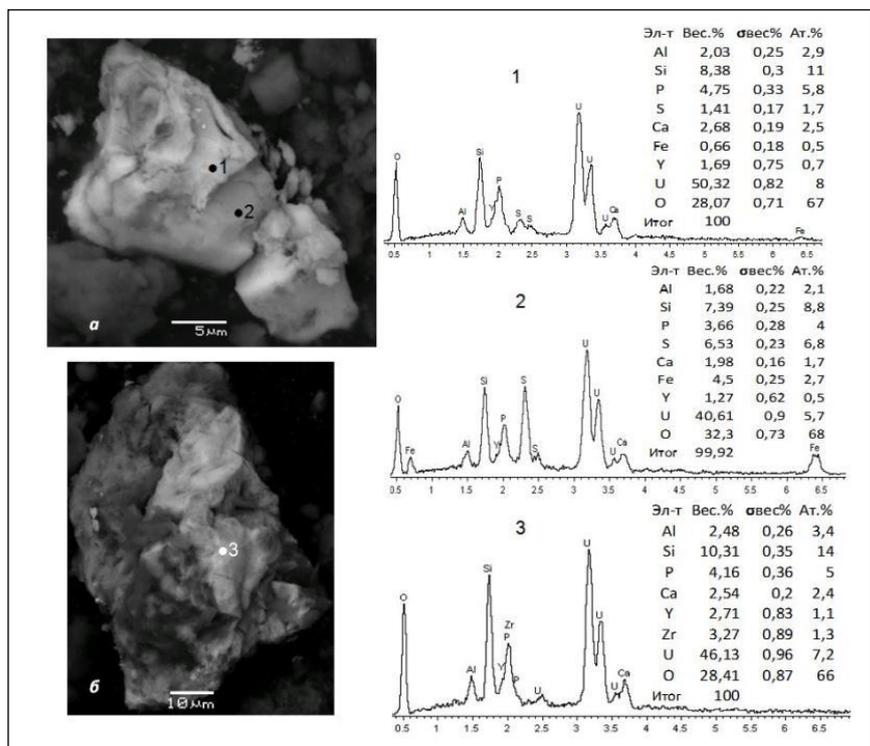


Рис. 4.10. Образец ПР-3. Крупные частицы неоднородной урановорудной минерализации (светлое) в глинистой массе (серое). Спектры и результаты полуколичественного ЭДС анализа рудной массы в отмеченных точках.

При анализе крупного выделения, когда исключён вклад посторонних элементов, темные участки в смеси можно отнести на счет сульфидного компонента (с незначительной Al-Si-примесью). В другой частице зафиксировано присутствие в составе только алюмосиликатной составляющей. Наличие незначительных примесей ( $Y \approx 2\%$ ,  $Zr \approx 2-3\%$ ) обусловлено низкой степенью кристалличности. Плохая дифференциация ураново-рудного вещества, характер сколов и трещин указывают на слабую раскристаллизацию и первоначально гелеподобный характер рудной фазы.

Более сложный состав нераскристаллизованной ураново-рудной минерализации определен в образце ПР-1, где темно-серые прослои в образце представляют собой трещиноватую неоднородную массу (рис. 4.11).

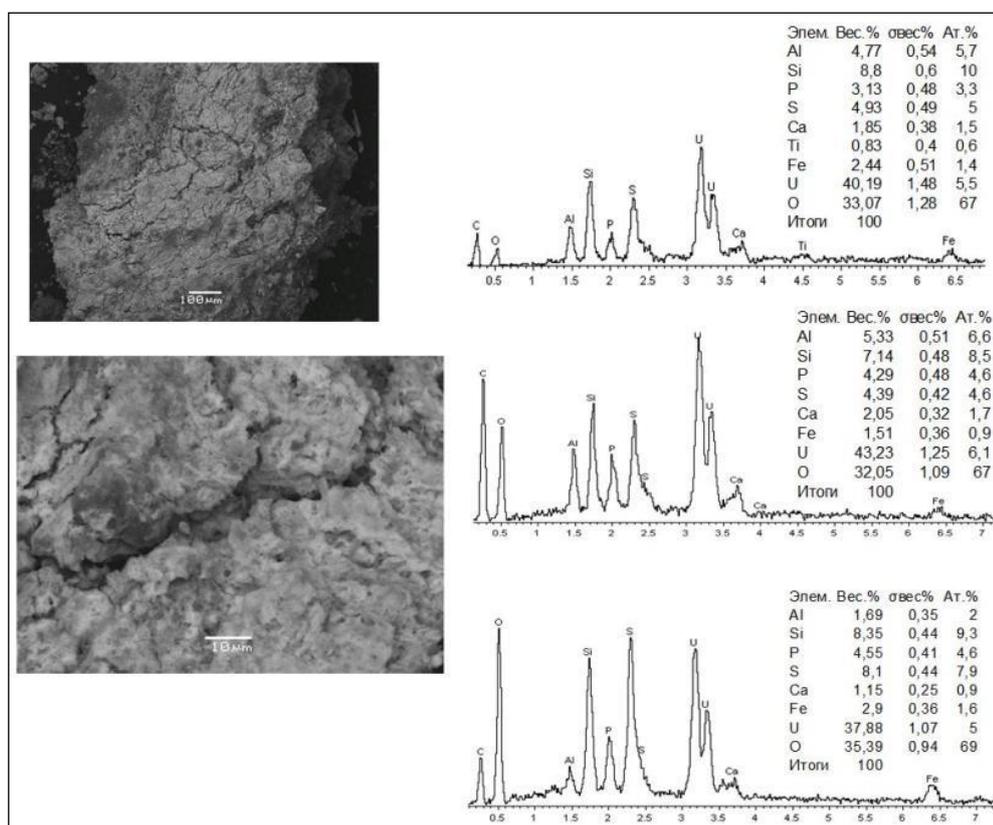


Рис. 4.11. Образец ПР-1. Плохо дифференцированная смесь рудной фазы (светлое) с Al-силикатной массой, отдельные участки обогащены гипсовым (темное) или сульфидным компонентом (серое); спектры состава и соответствующие результаты полуколичественного ЭДС анализа в разных точках светлой массы.

Рудная минерализация является основным материалом слабо дифференцированного Al-силикатно-сульфатного агрегата, в составе которого встречены кварц, Fe-сульфид, CaSO<sub>4</sub>. Анализ в различных точках показывает, что элементный состав рудного минерала достаточно выдержан и представлен в спектрах главными пиками U и Si, а также пиками P, Ca, S и Al. Присутствие в спектрах пика Al обычно связано с увеличением пика Si и обусловлено вкладом от близкого присутствия алюмосиликатов. В спектрах анализа ураново-рудного минерала часто присутствует различный по величине вклад от сульфидной составляющей рудной массы (пирита/марказита), что объясняет наличие пиков Fe и S.

Значительная величина пика серы в спектре может быть связана также с возрастанием пика кальция, что указывает на вклад от фазы CaSO<sub>4</sub>, захваченной в объеме анализа. К минералообразующим элементам рудного минерала уверенно относятся U, Si, P, Ca. Иногда отмечаемые в составе примесные пики (Ti, Mg, Na и др.) относятся к посторонним минеральным фазам, попавшим в область анализа (рис. 4.11). Несмотря на сходство по составу с P-содержащим коффинитом, нетипичная для коффинита комковатая, тонко-пластинчатая морфология может указывать на уранильный характер минерализации.

Судя по частоте находок в препаратах, гелеподобные выделения представляют рудную минерализацию наравне с кристаллической формой.

В образце ПР-3 установлен ещё один рудный минерал, состав которого представлен преимущественно ураном (с незначительными примесями Al, Si, P); он встречен как в кристаллической, так и в коллоидной форме (рис. 4.12).

Пластинчатая морфология кристаллических выделений и характерный недостаток сумм количественного анализа позволяет предварительно диагностировать минерал как простой гидроксид уранила скупит.

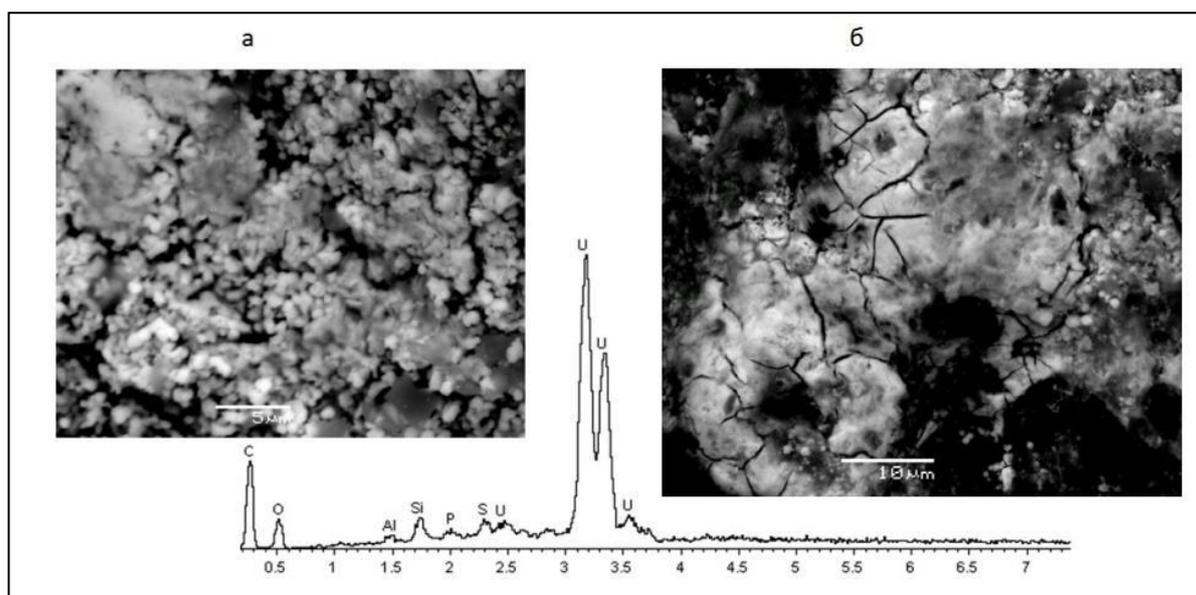


Рис.4.12. Корки кристаллического (а) и колломорфного (б) скупита и характерный спектр состава.

Коффинитом, содержащим фосфор, можно предварительно назвать весьма сходные с ним по морфологии кристаллы рудного минерала из образца ПР-2 (рис.4.13).

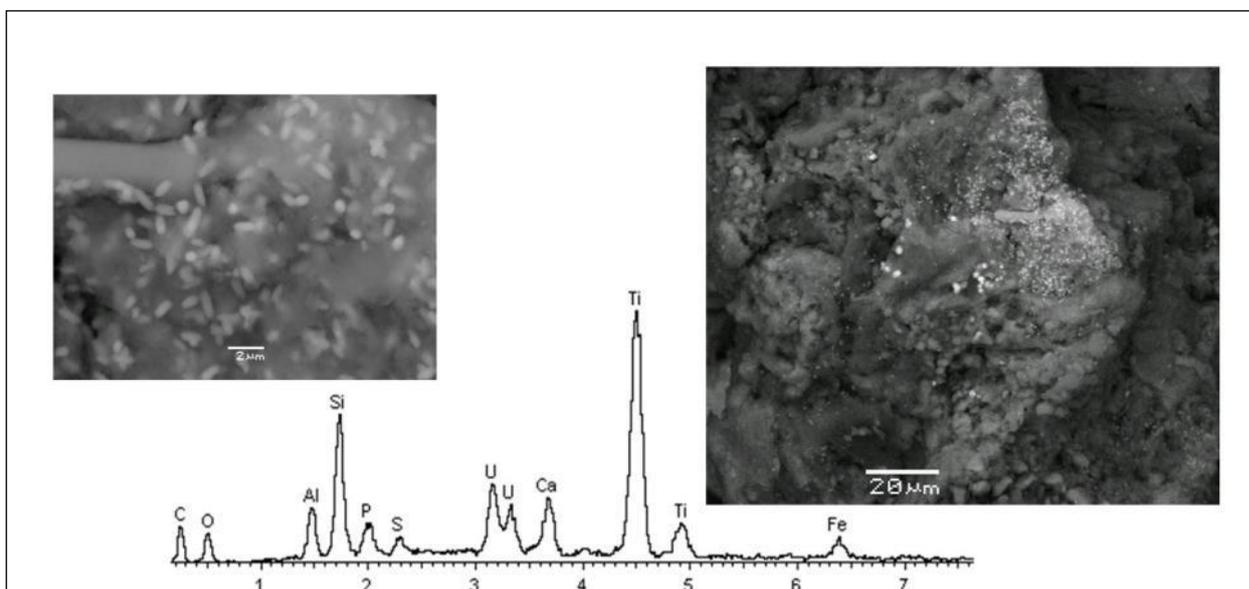


Рис. 4.13. Образец ПР-2. Справа – сильно изменённое зерно первичного титаната (серое, светло серое) в алюмосиликатной массе (темно-серое) с пиритом (ярко-белые точки) и урановой минерализацией (светлый крап по всему глинистому кусочку). Слева – увеличенный фрагмент с вкрапленностью иголок рудного минерала. Спектр состава со скопления кристаллов (диаметр зоны анализа до 5-6 микрон).

Игольчатые вытянутые кристаллы урановой фазы субмикронных размеров (менее 1 мкм) часто встречаются в виде россыпи ярких белых (на ЭМ снимках) частиц на глинистых частичках алюмосиликатного состава. Основными элементами их состава являются U, Si, P, Ca. По морфологии микронные кристаллы этой ураново-рудной фазы похожи на  $U^{4+}$ -силикат коффинит (P-содержащий) и на  $CaU^{4+}$ -фосфат – нингиоит. В структуре нингиоита кристаллохимически допускается изоморфизм групп  $PO_4$  и  $SO_4$ , а также катионов Ca и  $Fe^{2+}$ , что позволяет включать пики S и Fe, фиксируемые в спектрах, в состав минерала. Кремний же в составе нингиоитов ранее фиксировался крайне редко и только в виде незначительной примеси. Столь же редко кальций встречается в составе коффинитов. Можно предполагать, что найденные здесь вытянутые кристаллические формы представляют минеральную разновидность кристаллохимического ряда нингиоит-коффинит, где структурно допустимы замещения Ca-U- $Fe^{2+}$  в катионной части формулы и Si-P-S – в анионных группах [34,47].

Присутствие урана фиксируется также на глубоко измененной поверхности титанового минерала в составе материала алюмосиликатной смеси, образец ПР-2 (рис. 4.14).

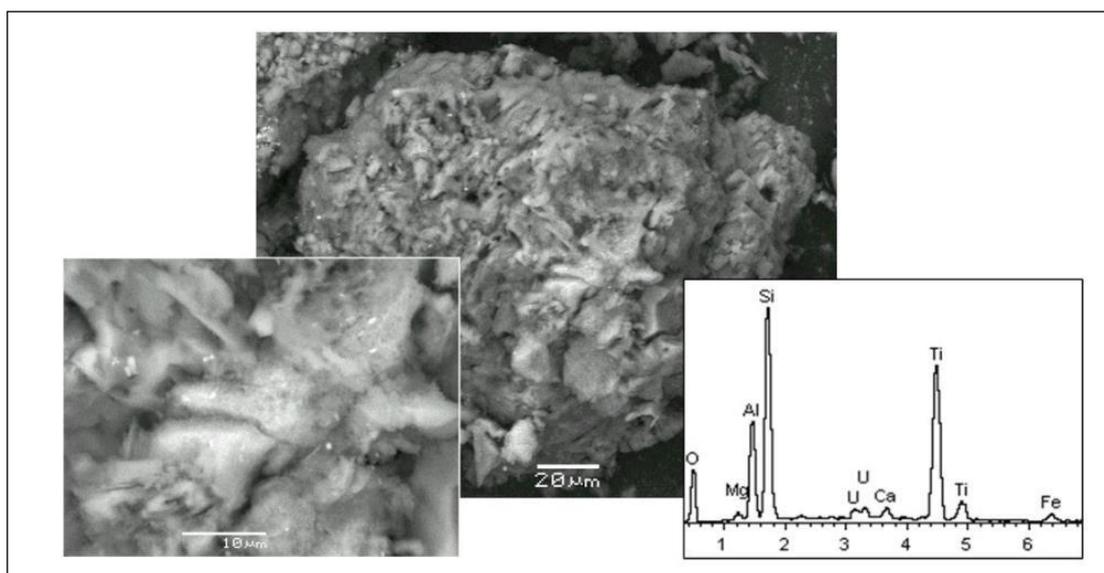


Рис.4.14. Образец ПР-2. Крупное включение сильно измененного первичного титаната в глинистой породе (светлое в центре), его увеличенный фрагмент и спектр состава комковатой фазы (по центру врезки,  $U \approx 2-3\%$ ); мелкий белый крап – урановый минерал.

Вероятно, в данном случае, исходным минералом был ильменит, потерявший при гипергенном преобразовании значительную часть железа. Аналогичное явление фиксации урана, сопровождающее вынос железа при выветривании ильменита, неоднократно наблюдалось разными исследователями в рудах инфильтрационных месторождений палеодолинного типа (Далматовское, Хохловское и др.) [35,36,102].

Для выяснения валентного состояния урана в рудных образцах использована методика локальной лазерной люминесцентной спектроскопии, где в качестве источника возбуждения использовано УФ-излучение лазера на молекулярном азоте [88]. Согласно методике в точке измеряется два спектра: один без задержки регистрации после импульса лазера, другой через 180 мкс после импульса (на спектрах обозначен Z). Спектральное разрешение микроспектрофотометра не хуже 2 нм, диаметр анализируемого участка 50 мкм. Измерения проведены для образцов при нормальных условиях.

При облучении лазером песчанистого материала рудных проб на отдельных частицах наблюдалось зелёное люминесцентное свечение, приуроченное к местам выделения урановой минерализации. Такой цвет люминесценции указывает на присутствие уранильной группировки  $(U^{+6}O_2)^{+2}$  в составе изучаемых минералов, что фиксируют и полученные спектры люминесценции (рис.4.15).

Наличие эквидистантных линий в спектре люминесценции и большое время затухания люминесценции доказывают присутствие уранила в составе минерала. Эти спектроскопические характеристики шестивалентного урана обладают высокой индивидуальностью, что позволяет надежно его идентифицировать [88,91].

Представительные для всех изученных образцов спектры люминесценции отличаются степенью структурированности диагностической спектральной полосы 400-600 нм, что соответствует степени кристалличности минерального вещества.

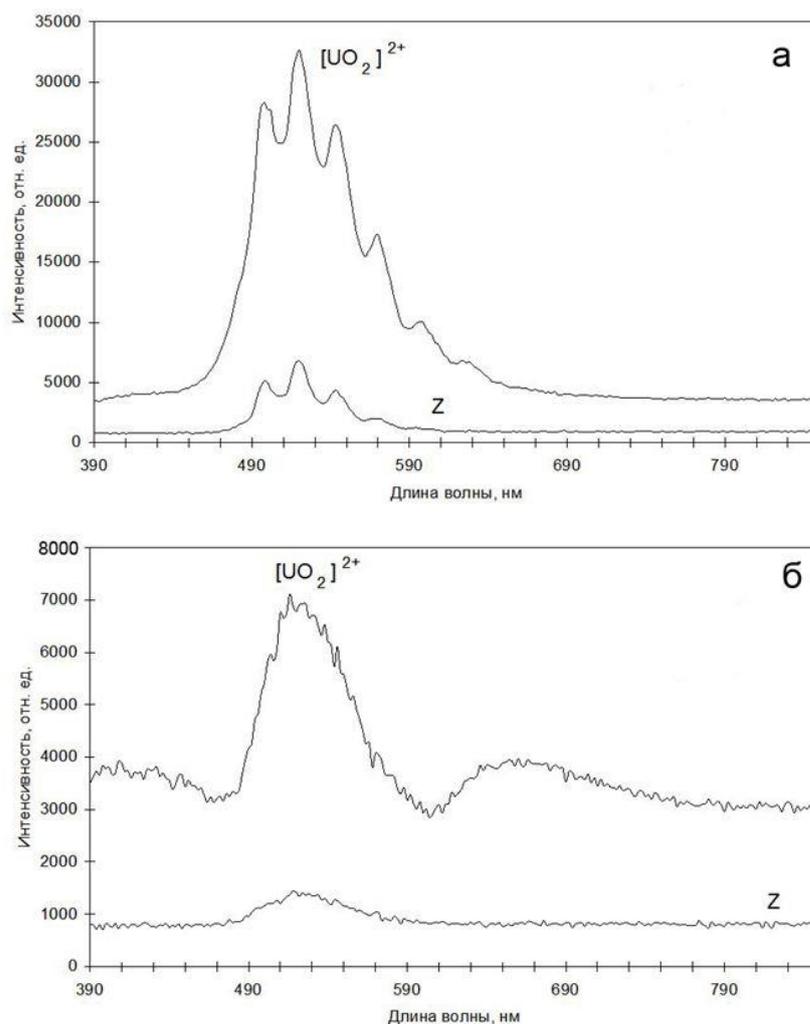


Рис.4.15. Спектры люминесценции: структурированная полоса (а) и размытая (б).

При сравнении минерального состава руд Ульзита с рудами других известных месторождений Монголии песчаникового типа, где проводились подобные исследования, отмечается их различие. Так, по неопубликованным данным *С.В. Батурина и В.Т. Дубинчука* с соавторами (1995 г.), рудная минерализация другого уранового месторождения палеодолинного типа Харат в Монголии представлена нингиоитом, оксидом  $U^{+4}$ , коффинитом и урановыми слюдками. Для еще одного монгольского гидрогенного месторождения Хайрхан, по предварительным, неопубликованным данным (Дойникова, Гречухин, 2016), в ходе качественного изучения состава урановой минерализации руд, установлена бескатионная (малокатионная)

форма, диагностированная с помощью люминесцентной спектроскопии как гидроксид уранила, предположительно скупит.

Обобщая результаты предварительного изучения вещественного состава руд следует подчеркнуть, что все три образца взяты из пограничной зоны двух геохимических сред – окислительной и восстановительной. Это обстоятельство, вероятно, и определило присутствие разновалентных минеральных форм урана.

Установлены две минеральные формы уранила  $U^{+6}$  – Са-фосфосиликат и гидроксид скупит. Среди природных минералов уранила фосфосиликат со смешанным анионным составом, т.е. одновременным присутствием Si и P в анионной части, ранее не был известен. Наличие уранильной минеральной формы ( $U^{+6}$ ) указывает на окислительную обстановку, где уран находится в мобильном состоянии.

Минеральная форма  $U^{+4}$  представлена P-содержащим коффинитом. Его образование происходит в восстановительных условиях, связанных с микробиальным разложением углефицированного органического вещества, которое служит источником фосфора [33].

Совместное нахождение минералов урана окисленной и восстановленной формы интерпретируется как существование локально неравновесных условий в пограничных участках рудной толщи. Такое совместное существование минералов разновалентных форм урана известно в одном из урановых месторождений Канады, где зафиксировано образование минерала  $U^{+4}$  нингионита по минералу уранила салеиту [115].

В практическом плане информация об оригинальном вещественном составе руд Ульзита, в первую очередь, помогает в решении двух вопросов – выбор оптимальной геотехнологической схемы добычи и прогноз новых рудных залежей в глубоких горизонтах осадочной толщи, не вскрытых бурением.

#### 4.4. Изотонный состав серы пиритов рудоносных отложений

В рудовмещающих сероцветных угленосных отложениях месторождения Ульзит, при документации керна единичных опорных скважин, отмечено присутствие зон межзерновой пиритизации и конкреционного пирита. Установлены две основные формы выделения пиритовой минерализации, развитой в пределах всего рудного поля :

1. Межзерновая эпигенетическая пиритизация в поровом цементе проницаемых сероцветных рудоносных песчаников и гравелитов и пленочный мелкий пирит по галькам пород кристаллического обрамления (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Эпигенетическая пиритизация по межзерновому пространству проницаемых ураноносных меловых отложений м-ния Ульзит (а – пиритизация цемента на контакте с угленосными песчаниками; б – агрегаты пирита по гальке кремнистой породы; в – интенсивная пиритизация по поровому пространству в гравийном песчанике).

2. Конкреционный пирит, развитый преимущественно в углефицированном органическом веществе, образованный, вероятно, в процессе микробиальной сульфат-редукции (рис 4.17).



Рис. 4.17. Конкреции пирита в сероцветных песчаниках, обогащенных углефицированным органическим веществом и в интервалах с буроугольными прослоями (а – конкреционное стяжение на контакте с буроугольным прослоем; б, в – конкреции пирита из того же интервала).

Кроме явной диагенетической микробиальной природы образования пиритовой минерализации было сделано предположение о возможном участии дополнительного потока газовых восстановителей по тектоническим зонам, в том числе влияющим и на формирование урановой минерализации.

С целью получения дополнительных сведений о механизме эпигенетических преобразований, а также проверки гипотезы об участии глубинных газовых восстановителей из различных горизонтов рудовмещающих угленосных отложений были отобраны восемь проб пиритов, различных по форме выделения, для анализа изотопного состава серы. Исследования проведены в лаборатории изотопной геохимии ЦНИГРИ (зав. лаб. д.г.-м.н. С.Г. Кряжев).

Изотопные анализы выполнены по стандартной методике [99], включающей перевод серы сульфидов в  $\text{SO}_2$  посредством реакции с  $\text{CuO}$  при  $760^\circ\text{C}$  в вакууме с последующей криогенной очисткой газа и анализом

изотопного состава серы на масс-спектрометре МИ-1201. Результаты пересчитывали по отношению к метеоритному стандарту CDT. В качестве эталонов использовали лабораторный стандартный образец ЦНИГРИ МСА-«пирит» с  $\delta^{34}\text{S} +0.7\text{‰}$  и стандартный образец ГЕОХИ РАН «Морской сульфат»  $\delta^{34}\text{S} +20.1\text{‰}$ .

Несмотря на малочисленную выборку, выявлена значительная вариация полученных значений  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидной серы (табл.4.9).

Таблица 4.9

*Изотопный состав серы пиритов из угленосных нижнемеловых ураноносных отложений месторождения Ульзит, Монголия*

| Номер образца | Глубина, м | Характеристика пробы   | $\delta^{34}\text{S}$ , ‰ | Содержание U в интервале отбора, % |
|---------------|------------|--|---------------------------|------------------------------------|
| IS-36340      | 59.0       | Мелкие наросты на гальке кремнистой породы                       | <b>+18.8</b>              | 0.022                              |
| IS-36340      | 73.5       | Конкреция диаметром 2-3 см                                       | -7.6                      | 0.003                              |
| IS-36411      | 72.5       | Прожилково-сетчатый мелкозернистый пирит в цементе конглобрекции | <b>-25.0</b>              | 0.006                              |
| IS-36338      | 81.2       | Конкреция тонкозернистого пирита до 5-7 см                       | -8.4                      | 0.011                              |
| IS-36310      | 87.4       | Конкреционное выделение размером до 5 см                         | +3.6                      | 0.03                               |
| IS-36295      | 90.0       | Мелкие (2-5 мм) изометричные выделения пирита                    | -9.2                      | 0.003                              |
| IS-36295      | 103.4      | Конкреционное выделение размером 1,0-1,5 см                      | +9.2                      | 0.002                              |
| IS-36419      | 155.0      | Цемент песчаника   | +1.6                      | 0.003                              |

Наиболее низкое значение  $\delta^{34}\text{S}$  (-25‰) характеризует пирит из цемента конглобрекции, показывая относительное преобладание здесь бактериальной деятельности. Наиболее высокое значение (+18.8‰) приурочено к агрегатам

и наростам пирита на гальке кремнистой породы из плохо сортированных рудовмещающих отложений.

Прежде всего, такая вариабельность значений изотопного состава серы указывает на изменчивость окислительно-восстановительных условий и разностепенное бактериальное восстановление сульфат иона в угленосных отложениях [100]. Это могло происходить в условиях продолжительной постседиментационной инфильтрации сульфатсодержащих подземных вод, дренирующих угленосную толщу. Следовательно, изотопное фракционирование серы подтверждает как инфильтрационный генезис урановых руд месторождения Ульзит, так и широкое развитие среды с участием микробиальной сульфат-редукции, благоприятной для уранового рудообразования.

Наличие и возможная роль глубинных газовых восстановителей в формировании контрастной восстановительной геохимической обстановки, определяющей формирование урановых рудных залежей, результатами изотопных анализов серы пиритов доказаны не были.

По приведенным данным в рудах месторождения также не отмечается четкой зависимости между содержанием урана и значениями изотопного состава серы пиритов.

#### ***4.5. Остаточные углеводородные газы в рудовмещающих отложениях***

Изучение остаточных глубокосорбированных углеводородных газов позволяет получить дополнительную генетическую информацию об условиях образования руд, в первую очередь, месторождений осадочного чехла, и последующих изменениях во вмещающих их породах. На урановых месторождениях песчаникового типа содержание и состав остаточных газообразных углеводородов позволяют оценить степень преобразования вмещающих осадочных отложений, а также характер эпигенетических и

миграционных процессов, с которыми связано гидрогенное рудообразование [63].

Для урановых месторождений Монголии исследование содержания и состава остаточных углеводородов  $C_1-C_6$  (ОУВ) в терригенных осадочных породах на примере образцов керна рудоносных меловых отложений месторождения Ульзит, проведено впервые в лаборатории кафедры геоэкологии МГРИ-РГГРУ под руководством профессора, доктора т.н. Владимира Сергеевича Лебедева [54].

Целью данного исследования являлось подтверждение гипотезы рудообразования и возможном участии газовых восстановителей в формировании контрастной восстановительной геохимической среды. Для этого изучены характеристики углей из рудовмещающей толщи, а в серии образцов из рудовмещающих отложений были проанализированы состав и содержание ОУВ.

Методика исследования глубокосорбированных углеводородных газов базируется на факте их природной консервации и сохранении в породах. Извлечение и последующий анализ ОУВ возможен лишь при жестком воздействии на исследуемые образцы (нагревании, измельчении, вакуумировании). Для выделения ОУВ и определения их состава использовался метод термической дегазации (ТД), который широко применяется при геохимических исследованиях [63]. В данном случае был выбран вариант ТД, который успешно применялся ранее при изучении ОУВ ископаемых углей [55]. Суть методики состоит в пробоподготовке (измельчение проб, отбор фракции 0,25-0,25 мм), нагревании при температуре 200°C в атмосфере гелия и последующем определении состава выделившихся ОУВ методом газовой хроматографии. Система ТД была смонтирована в газовую схему хроматографа. Выделившиеся при нагревании образцов газы направлялись в хроматографическую колонку (металлическая колонка диаметром 3 мм, длиной 3 м, сорбент – активированный  $Al_2O_3$ ), где проводилось определение содержания ОУВ от метана до гексана с

использованием пламенно-ионизационного детектора. Исследования проводились на отечественных газовых хроматографах «М-3700» и «Кристалл 5000.1». Регистрация и обработка данных измерений проводилась на компьютере с использованием специализированным программ «Z-Lab» и «Хроматек». Результаты определения представлены в  $\text{см}^3$  на 1 кг воздушносухой пробы ( $\text{см}^3/\text{кг}$ ), а состав ОУВ – в отн. % на сумму ОУВ.

Анализ ОУВ проведен по 20 пробам из наиболее глубокой (420 м) и представительной керновой скважины С-36384, расположенной в северной, наиболее продуктивной части рудоносной зоны, а также 3 пробам из буроугольных прослоев разрезов других скважин, также находящихся в контуре месторождения (рис 4.18). Результаты газогеохимических анализов представлены в таблице (табл. 4.10).

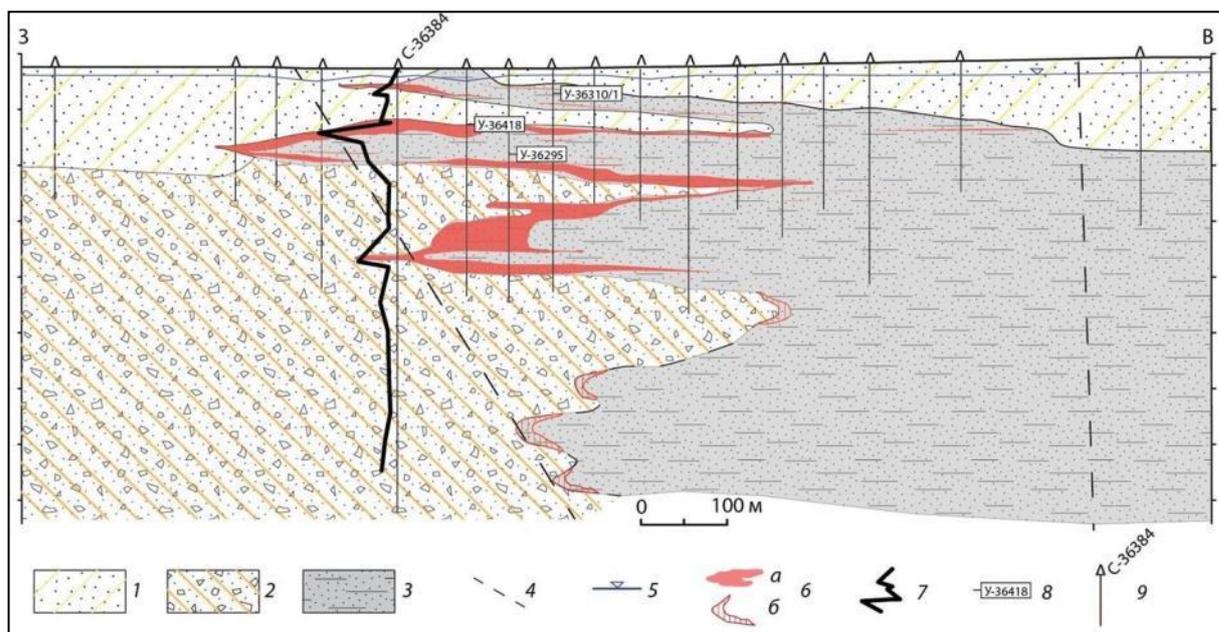


Рис. 4.18. Схематический геологический разрез месторождения Ульзит  
 1 –поверхностного и грунтового вторичное окисление, развивающееся по проницаемым песчано-конгломератовым отложениям; 2 - пластово-поровое вторичное окисление, развивающееся по красноцветно-пестроцветным грубообломочным отложениям конуса выноса; 3 - сероцветные угленосные озерно-болотные отложения с восстановительной геохимической средой; 4 - предполагаемое тектоническое нарушение; 5 - статический уровень подземных вод; 6 - урановорудные залежи: а - разведанные, б – прогнозируемые; 7- график распределения суммарных ОУВ по скважине С-36384; 8 - позиции проб бурого угля и их номер; 9 - поисково-разведочные скважины.

Таблица 4.10

*Результаты анализа состава и содержания ОУВ в образцах  
рудовмещающих пород и углей уранового месторождения Ульзит*

| Номер пробы   | Литология                                    | Содержание ОУВ, см <sup>3</sup> /кг - отн. % |                 |                               |                               |                               |                               |                                |                               |                                |                                | Сумма<br>ОУВ,<br>см <sup>3</sup> /кг |
|---------------|--|--|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
|               |  | Глубина,<br>м                                | СН <sub>4</sub> | С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> | С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> | С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> | С <sub>3</sub> Н <sub>6</sub> | С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> | С <sub>4</sub> Н <sub>8</sub> | С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> | С <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> |                                      |
| <b>Угли</b>   |  |  |                 |                               |                               |                               |                               |                                |                               |                                |                                |                                      |
| У-36310-1     | уголь  | 24   | 4.80            | 0.38                          | 2.80                          | 0.40                          | 0.45                          | 0                              | 0                             | 0                              | 0                              | 8.675                                |
|               |  |  | 54.36           | 4.25                          | 31.71                         | 4.53                          | 5.10                          | 0                              | 0                             | 0                              | 0                              |                                      |
| У-36418       | уголь  | 48.1   | 2.85            | 0.45                          | 1.45                          | 0.15                          | 0.40                          | 0                              | 0                             | 0                              | 0                              | 5.300                                |
|               |  |  | 53.77           | 8.49                          | 27.36                         | 2.83                          | 7.55                          | 0                              | 0                             | 0                              | 0                              |                                      |
| У-36295       | уголь  | 79.8   | 1.40            | 0.25                          | 0.65                          | 0.08                          | 0.11                          | 0                              | 0.075                         | 0                              | 0                              | 2.563                                |
|               |  |  | 54.63           | 9.76                          | 25.37                         | 2.93                          | 4.39                          | 0                              | 2.9                           | 0                              | 0                              |                                      |
| <b>Порода</b> |  |  |                 |                               |                               |                               |                               |                                |                               |                                |                                |                                      |
| GG36384-1     | светло-салатовый<br>алевропесчаник           | 13.7   | 0.06            | 0                             | 0.11                          | 0.04                          | 0.25                          | 0.06                           | 0.16                          | 0                              | 0                              | 0.669                                |
|               |  |  | 8.36            | 0                             | 15.67                         | 6.27                          | 36.57                         | 9.40                           | 23.51                         | 0                              | 0                              |                                      |
| GG36384-2     | желто-бурый плотный<br>песчаник              | 22.8   | 0.03            | 0                             | 0.09                          | 0                             | 0.24                          | 0.28                           | 1.53                          | 0.05                           | 0.22                           | 2.435                                |
|               |  |  | 1.33            | 0                             | 3.59                          | 0                             | 9.94                          | 11.27                          | 62.70                         | 1.95                           | 9.02                           |                                      |
| GG36384-3     | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 23.9   | 0.08            | 0                             | 0.16                          | 0.01                          | 0.22                          | 0.05                           | 0.20                          | 0                              | 0                              | 0.715                                |
|               |  |  | 10.49           | 0                             | 22.38                         | 1.05                          | 31.12                         | 6.99                           | 27.97                         | 0                              | 0                              |                                      |
| GG36384-4     | белесо-светло-серый<br>плотный песчаник      | 29   | 0.07            | 0.03                          | 0.19                          | 0.03                          | 0.17                          | 0.02                           | 1.56                          | 0.01                           | 0.01                           | 2.095                                |
|               |  |  | 3.46            | 1.31                          | 9.07                          | 1.43                          | 8.23                          | 1.07                           | 74.46                         | 0.48                           | 0.48                           |                                      |
| GG36384-5     | буро-серый окисленный<br>алевропесчаник      | 47.7   | 0.09            | 0.07                          | 0.31                          | 0.03                          | 0.79                          | 0                              | 0.43                          | 0.02                           | 0.11                           | 1.835                                |
|               |  |  | 4.77            | 3.54                          | 16.89                         | 1.63                          | 43.05                         | 0                              | 23.30                         | 1.09                           | 5.72                           |                                      |
| GG36384-6     | темно-серый плотный<br>алевролит             | 48.7   | 0.07            | 0                             | 0.16                          | 0                             | 0.08                          | 0.09                           | 0.22                          | 0.08                           | 0.03                           | 0.800                                |
|               |  |  | 8.44            | 7                             | 20.00                         | 3                             | 9.38                          | 10.94                          | 27.81                         | 10.00                          | 4.06                           |                                      |
| GG36384-7     | серый алевропесчаник                         | 56.7   | 0.20            | 0.07                          | 0.30                          | 0.17                          | 0.51                          | 1.69                           | 0.43                          | 0.85                           | 0.93                           | 5.133                                |
|               |  |  | 3.85            | 1.27                          | 5.85                          | 3.31                          | 9.94                          | 32.93                          | 8.28                          | 16.56                          | 18.02                          |                                      |
| GG36384-8     | серый песчаник                               | 66.7   | 0.59            | 0.10                          | 0.58                          | 0.12                          | 0.51                          | 0.23                           | 0.05                          | 0.09                           | 0.41                           | 2.670                                |
|               |  |  | 22.00           | 3.75                          | 21.72                         | 4.40                          | 19.10                         | 8.43                           | 1.78                          | 3.46                           | 15.36                          |                                      |
| GG36384-9     | зеленовато-темно-серый<br>алевролит          | 83.4   | 0.06            | 0                             | 0.13                          | 0                             | 0.39                          | 0.44                           | 0.78                          | 0.08                           | 0.18                           | 2.050                                |
|               |  |  | 2.93            | 0                             | 6.10                          | 0                             | 19.02                         | 21.34                          | 38.05                         | 4.02                           | 8.54                           |                                      |
| GG36384-10    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 103.4  | 0.07            | 0                             | 0.11                          | 0                             | 0.18                          | 0                              | 0.38                          | 0.01                           | 0.03                           | 0.775                                |
|               |  |  | 9.03            | 0                             | 13.87                         | 0                             | 23.55                         | 0                              | 48.39                         | 1.61                           | 3.55                           |                                      |
| GG36384-11    | кирпично-красный<br>глинистый алевропесчаник | 134.5  | 0.08            | 0                             | 0.11                          | 0                             | 0.19                          | 0                              | 0.52                          | 0.02                           | 0.08                           | 0.993                                |
|               |  |  | 8.25            | 0                             | 10.50                         | 0                             | 19.25                         | 0                              | 51.75                         | 1.50                           | 8.00                           |                                      |
| GG36384-12    | кирпично-бурый<br>глинистый песчаник         | 143.5  | 0.04            | 0                             | 0.03                          | 0                             | 0.14                          | 0                              | 0.58                          | 0.01                           | 0.05                           | 0.843                                |
|               |  |  | 5.04            | 0                             | 2.97                          | 0                             | 16.02                         | 0                              | 68.55                         | 1.19                           | 6.23                           |                                      |
| GG36384-13    | серый глинистый песчаник                     | 173.4  | 0.26            | 0.05                          | 0.83                          | 0                             | 0                             | 0.13                           | 1.09                          | 0.02                           | 0.24                           | 2.936                                |
|               |  |  | 8.77            | 1.79                          | 28.19                         | 0                             | 11                            | 4.43                           | 37.04                         | 0.54                           | 8.09                           |                                      |
| GG36384-14    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 178.1  | 0.11            | 0                             | 0.08                          | 0                             | 0.19                          | 0.05                           | 1.25                          | 0.07                           | 0                              | 1.739                                |
|               |  |  | 6.28            | 0                             | 4.48                          | 0                             | 10.76                         | 2.69                           | 71.75                         | 4.04                           | 0                              |                                      |
| GG36384-15    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 210.2  | 0.12            | 0.03                          | 0.18                          | 0.03                          | 0.35                          | 0.08                           | 0.47                          | 0                              | 0                              | 1.255                                |
|               |  |  | 9.36            | 2.19                          | 14.34                         | 2.39                          | 27.69                         | 6.37                           | 37.65                         | 0                              | 0                              |                                      |
| GG36384-16    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 235.8  | 0.08            | 0                             | 0.08                          | 0.01                          | 0.21                          | 0                              | 0.34                          | 0.02                           | 0                              | 0.758                                |
|               |  |  | 10.55           | 0                             | 10.88                         | 0.99                          | 28.03                         | 3                              | 44.85                         | 1.98                           | 0                              |                                      |
| GG36384-17    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 279  | 0.08            | 0                             | 0.14                          | 0                             | 0.18                          | 0                              | 0.37                          | 0.0                            | 0                              | 0.773                                |
|               |  |  | 10.68           | 0                             | 18.45                         | 0                             | 23.30                         | 0                              | 47.57                         | 0.0                            | 0                              |                                      |
| GG36384-18    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 309.4  | 0.10            | 0                             | 0.12                          | 0                             | 0.14                          | 0                              | 0.28                          | 0.0                            | 0                              | 0.635                                |
|               |  |  | 16.14           | 0                             | 18.50                         | 0                             | 22.05                         | 0                              | 43.31                         | 0.0                            | 0                              |                                      |
| GG36384-19    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 334.8  | 0.08            | 0                             | 0.10                          | 0.01                          | 0.29                          | 0.04                           | 0.36                          | 0.02                           | 0.11                           | 1.000                                |
|               |  |  | 7.50            | 0                             | 10.00                         | 1.25                          | 28.75                         | 4.25                           | 35.75                         | 2.00                           | 10.50                          |                                      |
| GG36384-20    | кирпично-красный<br>глинистый песчаник       | 361.6  | 0.05            | 0                             | 0.03                          | 0                             | 0.25                          | 0.15                           | 0.38                          | 0.03                           | 0.17                           | 1.048                                |
|               |  |  | 4.77            | 0                             | 2.39                          | 0                             | 23.63                         | 14.08                          | 35.80                         | 2.86                           | 16.47                          |                                      |

В процессе исследований проведена сравнительная характеристика образцов углей рудовмещающей толщи месторождения Ульзит с

усредненными характеристиками бурых углей других месторождений [55], что позволяет сопоставить условия их формирования.

Содержание ОУВ в углях месторождения Ульзит варьирует в пределах 2.56-8.67 см<sup>3</sup>/кг и составляет в среднем 5.51 см<sup>3</sup>/кг, среднее содержание метана СН<sub>4</sub>– 3.01 см<sup>3</sup>/кг, средние суммы (С<sub>2</sub>-С<sub>6</sub>) – 2.59 см<sup>3</sup>/кг угля. В тяжелых углеводородах (ТУ) превалируют непредельные, отношение (С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>+С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub>)/(С<sub>2</sub>Н<sub>4</sub>+С<sub>3</sub>Н<sub>6</sub>) в среднем составляет 0.28.

По петрографическим параметрам, величине отражения витринита (R<sub>0</sub> % 0.25-0.35), а также по содержанию и составу ОУВ изученные образцы углей месторождения Ульзит сопоставимы с другими буроугольными месторождениями (рис. 4.19) и не имеют существенных отличий. Углеводородный состав остаточных УВ углей месторождения (относительные % в сумме УВ С<sub>1</sub>-С<sub>6</sub>) в целом близок к среднему составу ОУВ бурых углей (рис. 4.20).

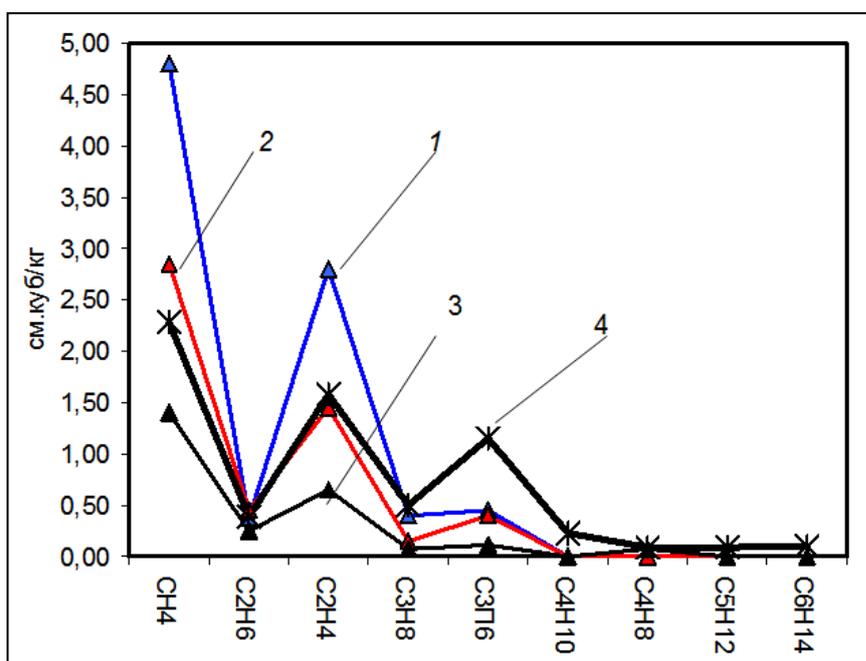


Рис. 4.19. Содержание ОУВ в образцах углей месторождения Ульзит на фоне среднего содержания ОУВ в буроугольных месторождениях. 1 – обр. У-36310-1; 2 – обр. У-36418; 3 – обр. У-36295; 4 – среднее содержание ОУВ в буроугольных месторождениях.

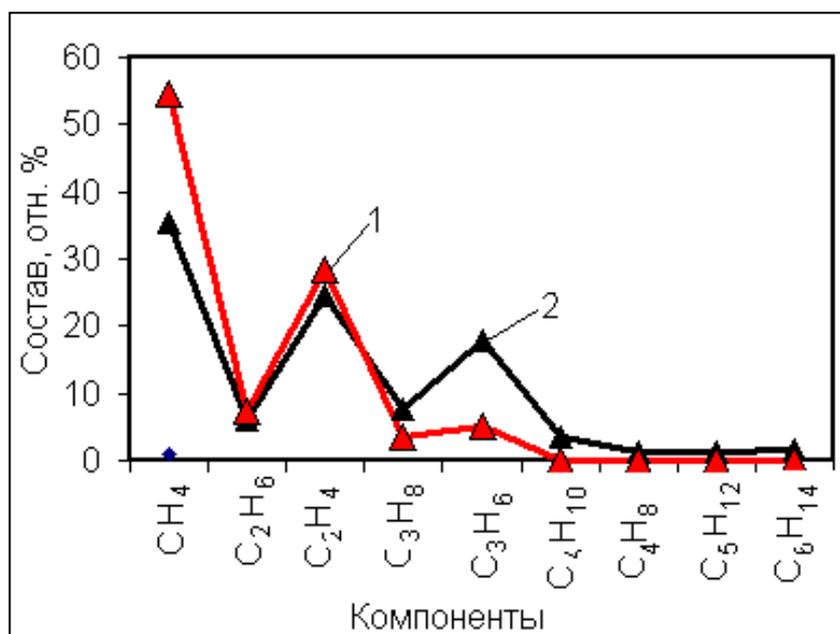


Рис. 4.20. Среднее содержание ОУВ в углях месторождения Ульзит (1) и среднее содержание ОУВ в бурогольных месторождениях (2).

Преобладание непредельных УВ над предельными, также является характерной особенностью бурых углей. В ископаемых углях более высоких стадий преобразования (каменные угли, антрацит) в ОУВ содержание непредельных УВ существенно ниже, чем в ОУВ бурых углей [55].

Проведено исследование ОУВ рудовмещающих осадочных пород месторождения Ульзит по разрезу скважины С-36384 до глубины 362 м. Содержание ОУВ варьирует в пределах от 0.635 до 5.133 см<sup>3</sup>/кг (табл. 4.5.1) со средним значением 1.6 см<sup>3</sup>/кг. Максимальные содержания ОУВ установлены на глубине 55-85 м и 170-180 м, что соответствует глубинам интервалов урановой минерализации (рис. 4.21).

Оба интервала характеризуются повышенным содержанием ОУВ относительно породы в целом, но состав УВ различен.

На верхнем уровне установлено резкое повышение содержания предельных УВ – бутана, пентана и гексана относительно соседних интервалов. В то же время, на этом фоне сохраняется картина распределения непредельных УВ, как в ОУВ угля и участках разреза без урановой минерализации.

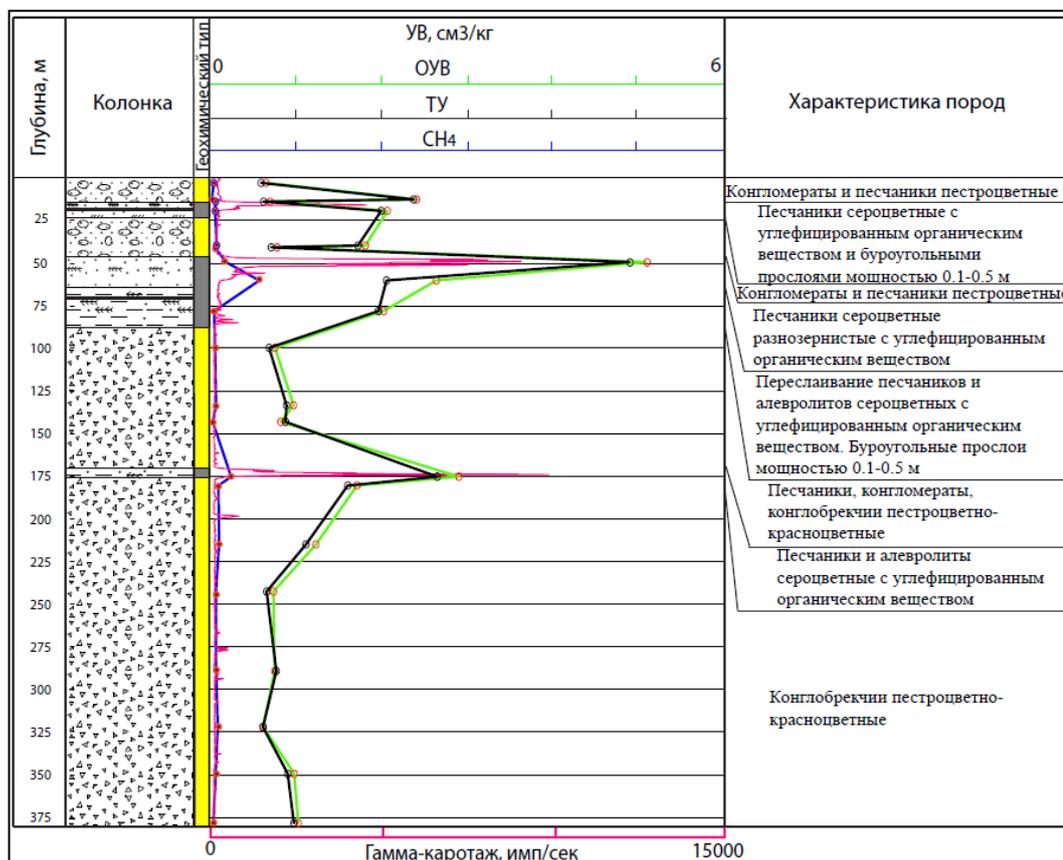


Рис. 4.21. Распределение содержания ОУВ (суммарное, ТУ, метан) в осадочном разрезе месторождения Ульзит (по керну скв. С-36384).

На нижнем участке в ОУВ установлено повышение содержания бутилена относительно соседних интервалов при низком содержании предельных УВ (рис. 4.22).

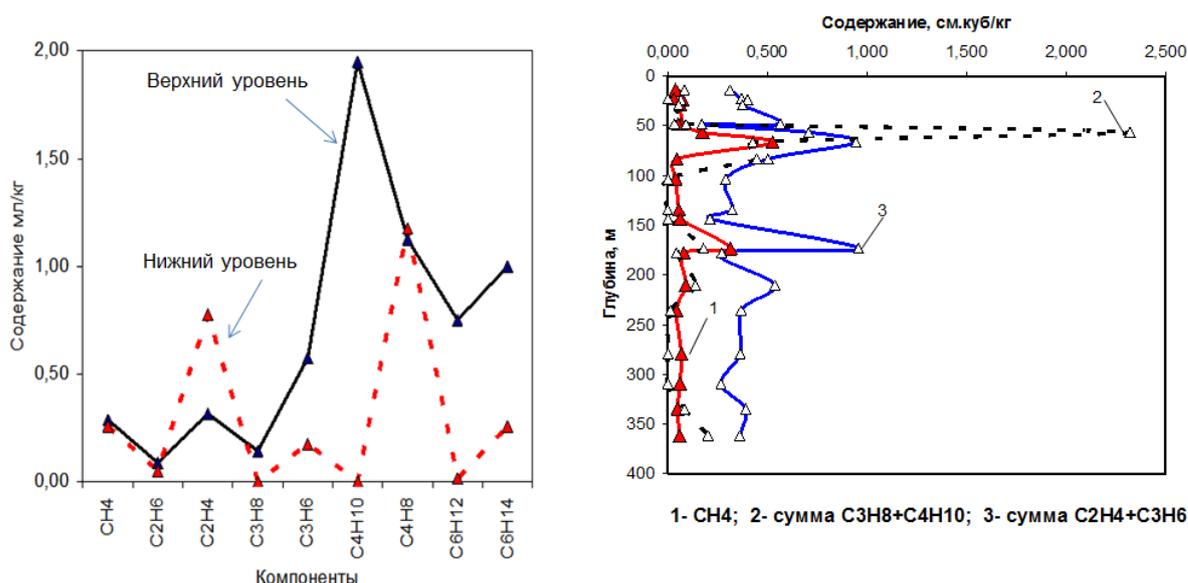


Рис. 4.22. Различный состав ОУВ на верхнем (~70 м) и нижнем (~170 м) уровнях уранового оруденения в скв. С-36384.

Таким образом, исследованиями подтверждено, что рудоносная толща месторождения содержит горизонты углей буроугольной стадии преобразования, а условия их формирования не отличаются от условий формирования бурых углей других месторождений.

Полученные данные газогеохимических исследований подтверждают предположение о локализации уранового месторождения Ульзит в зоне выклинивания грунтово-пластового окисления в условиях экзодиагенеза на контрастном восстановительном геохимическом барьере. На этом геохимическом барьере под воздействием сообщества микроорганизмов протекали активные процессы газообразования, что и отражается в повышенном содержании ОУВ на участках урановой минерализации.

Также, впервые установлена четкая связь между аномально высокими содержаниями ОУВ в рудовмещающих породах и урановым оруденением.

Предварительно выявлено различие распределения предельных и непердельных ОУВ в отложениях разных стратиграфических уровней урановой минерализации, что для гидrogenных месторождений урана Монголии зафиксировано впервые, заслуживает внимания и требует дальнейшего изучения.

#### ***4.6. Предварительное изучение технологические свойств руд***

Технологической характеристикой руд, показавшей присутствие легко извлекаемых минеральных форм урана в рудах месторождения, являются результаты геотехнологического опыта [9,62,83,84]. Натурных опытных работ по выщелачиванию урана из рудных залежей месторождения Ульзит не проводилось. Однако, для предварительного изучения геотехнологических свойств руд были отобраны четыре пробы из керна скважин, вскрывших промышленнозначимые содержания урана. В пробы вошли рудные интервалы керна, где урановая минерализация локализована в проницаемых

слаболитифицированных отложениях – мелко-среднезернистых песчаниках, обогащенных тонкозернистым углефицированным веществом.

Опыт по статическому выщелачиванию урана проводился на базе Центральной Геологической Лаборатории Монголии, в специально подготовленных колоннах диаметром 7.5 см и длиной 50 см. Для изучения применялась одна комплексная усредненная проба весом 11.5 кг, приготовленная из смеси четырех керновых. В ней предварительно, методом XRF и химическим анализом, определены содержания урана, тория и других химических компонентов, влияющих на процесс выщелачивания (табл. 4.11 и 4.12) [20,24].

Таблица 4.11

*Результаты рентгено-флуоресцентного анализа пробы для лабораторного опыта выщелачивания урана из руд месторождения Ульзит*

| Оксиды, %                       |        | Элементы, ppm |     |    |     |    |            |
|---------------------------------|--------|---------------|-----|----|-----|----|------------|
| SiO <sub>2</sub>                | 63.16  | As            | 5   | Nd | <50 | U  | <b>882</b> |
| TiO <sub>2</sub>                | 1.08   | Ba            | 751 | Ni | 10  | V  | 118        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 15.8   | Bi            | <5  | Ge | <3  | W  | <8         |
| ∑Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.05   | Ce            | 113 | Pb | 31  | Y  | 106        |
| MnO                             | 0.22   | Co            | 22  | Pr | <30 | Zn | 95         |
| MgO                             | 0.31   | Cr            | 75  | Rb | 189 | Zr | 460        |
| CaO                             | 1.23   | Cs            | <25 | Sb | 185 |    |            |
| Na <sub>2</sub> O               | 3.02   | Cu            | 12  | Sc | 18  |    |            |
| K <sub>2</sub> O                | 4.16   | Ga            | 26  | Sm | <30 |    |            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | 0.352  | Hf            | 16  | Sn | <20 |    |            |
| F                               | < 0.05 | La            | 68  | Sr | 255 |    |            |
| LOI                             | 8      | Mo            | 228 | Ta | <10 |    |            |
| Sum                             | 99.41  | Nb            | 6   | Th | <5  |    |            |

Таблица 4.12

*Результаты химического анализа пробы для лабораторного выщелачивания урана из руд месторождения Ульзит*

| U, ppm     | FeO, % | ∑Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % | CaO, % | CO <sub>2</sub> , % | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % |
|------------|--------|-------------------------------------|--------|---------------------|------------------------------------|
| <b>807</b> | 0.29   | 2.2                                 | 1.26   | 0.45                | 1.88                               |

Среднее содержание урана в пробе составило 882 ppm по результатам XRF и 807 ppm по результатам химического анализов.

В каждую колонну (К-1, К-2, К-3) загружался материал усредненной пробы в количестве 2.5 кг, с предварительно определённым содержанием урана 934-1358 ppm.

Выщелачивание проводилось в течение 31-го дня (739-749 часов) водным раствором серной кислоты с различной концентрацией – 5, 10 и 20 г/л, с периодическим мониторингом основных химических показателей. Суммарные результаты опыта представлены в таблице (табл. 4.13) и на графике (рис. 4.23).

Таблица 4.13

*Суммарные результаты лабораторного опыта выщелачивания урана из руд месторождения Ульзит*

| Параметры                            | Ед. Изм | К-1                            | К-2                            | К-3                            |
|--------------------------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Содержание U в пробе до начала опыта | ppm     | <b>1037</b>                    | <b>1358</b>                    | <b>934</b>                     |
| Вес сухой пробы                      | г       | 2500                           | 2500                           | 2500                           |
| Реагент выщелачивания                | -       | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Концентрация кислоты в растворе      | г/л     | 5                              | 10                             | 20                             |
| Объем насыщенного U раствора         | мл      | 281719                         | 276105                         | 283073                         |
| Ж:Т                                  |         | 1 : 211                        | 1 : 207                        | 1 : 212                        |
| Время выщелачивания                  | ч       | 739                            | 743                            | 749                            |
| Скорость фильтрации раствора         | мл/мин  | 6.35                           | 6.20                           | 6.30                           |
| Коэффициент фильтрации               | м/сут   | 2.1                            | 2.0                            | 2.1                            |
| Среднее содержание U в растворе      | мг      | 2.3                            | 3.3                            | 2.3                            |
| Среднее рН                           | -       | 1.34                           | 1.2                            | 1.08                           |
| Среднее Eh                           | mV      | 376.07                         | 363.6                          | 373.6                          |
| Остаточное содержание U в "хвостах"  | ppm     | <b>134.7</b>                   | <b>29.0</b>                    | <b>9.4</b>                     |
| Извлечение металла                   | %       | <b>86.0%</b>                   | <b>96.7%</b>                   | <b>97.8%</b>                   |

Опытом определены хорошие показатели извлечения урана из руд по сернокислотной схеме выщелачивания. При использовании раствора с концентрацией серной кислоты 5 г/л извлечение урана составило 86%, а для растворов с концентрацией 10 и 20 г/л – 96.7 и 97.8% соответственно.

Из результатов опыта также следует, что вполне удовлетворительное извлечение урана достигается даже с применением слабо кислотных растворов. Раствор с концентрацией кислоты 10 г/л увеличивает извлечение

металла на 10%, а повышение концентрации до 20 г/л несущественно влияет на выщелачиваемость урана по сравнению с раствором кислоты 10 г/л и лишь увеличивает скорость химической реакции.

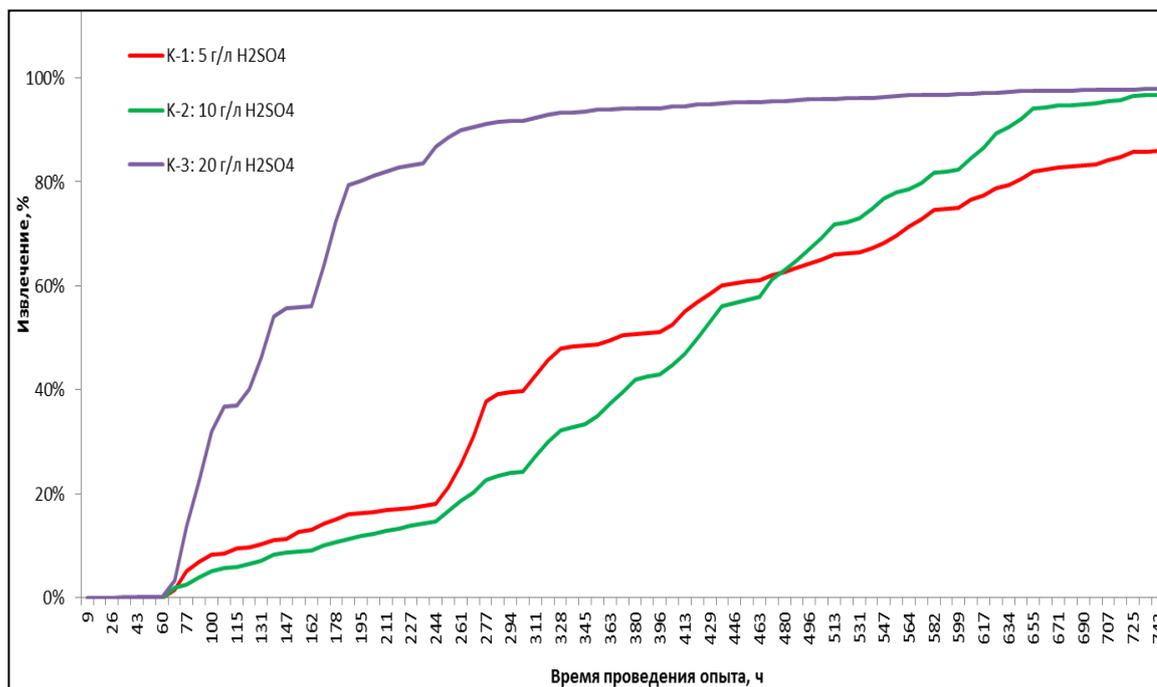


Рис.4.23. График кинематики опыта лабораторного статического выщелачивания урана из руд месторождения Ульзит с применением сернокислотного раствора разной концентрации.

Таким образом, проведенные испытания малообъемных проб ядерного материала с нарушенной структурой вмещающих пород в лабораторных условиях предварительно дают положительную оценку геотехнологических параметров руд месторождения Ульзит. Высокая степень извлечения урана, по всей видимости, определяется характерным вещественным составом руд, в том числе и фосфо-силикатной и уранильной формами рудной минерализации, что подтверждено электронно-микроскопическими исследованиями.

При последующих геотехнологических испытаниях предполагается установить количественную пропорцию нахождения урана в различных минеральных формах (уранильная, фосфо-силикатная и т.д.), что напрямую влияет на процесс извлечения металла из руд. Окончательный вывод о геотехнологических характеристиках руд месторождения Ульзит возможно

сделать только после полноценного натурного опыта СПВ, минимум по 2-х скважинной схеме.

#### **4.7. Выводы**

На месторождении Ульзит впервые проведен комплекс исследований, результаты которого дают первоначальное представление о вещественном составе урановых руд. Вещественный состав руд месторождения, в целом, типичен для месторождений песчаникового и палеодолинного типа, однако, имеет свои оригинальные характеристики. Полученные данные несут важную генетическую и практическую информацию, определяющую следующий ряд выводов:

➤ Образование наиболее богатых руд с восстановленной формой урановой минерализации (урановые черни) происходило на границе грубообломочных пород красноцветной молассы с угленосными озерно-болотными сероцветными отложениями, что нашло отражение в вещественном составе рудовмещающих отложений и рудной минерализации.

➤ Руды месторождения алюмосиликатные низкокарбонатные монометалльные урановые, сопутствующие элементы отражают типичный для гидrogenных месторождений геохимический фон и не образуют самостоятельных рудных скоплений.

➤ Первоначальные сведения о радиологических свойствах урановых руд указывают на их равновесный характер и низкую вариацию радиологических свойств относительно глубины и мощности. Вклад других натуральных гамма-излучателей, в первую очередь, тория и калия, незначителен. Даны практические рекомендации для интерпретации рудных интервалов по данным интегрального гамма-каротажа и для подсчета запасов.

➤ Впервые получены данные о составе урановой минерализации методом АСЭМ. Установлены два минерала шестивалентного урана – простой гидроксид уранила скупит и Са-фосфосиликат уранила. Оба

минерала встречаются как в кристаллической форме, так и в нераскристаллизованной гелеподобной. В нескольких случаях диагностирован минерал 4-х валентной формы урана Р-содержащий коффинит. Присутствие урана в незначительных количествах также фиксируется в продуктах изменения ильменита. Совместное нахождение в образцах минералов, представляющих различные валентные формы урана, указывает на проявление локально неравновесных условий в пограничных участках рудной толщи. Диагностированные 6-ти валентные формы рудной минерализации указывают на переотложение урана в уранильной форме, обусловленное окислением первичных урановых руд в результате дальнейшего непрерывного поступления кислородсодержащих вод.

➤ Скопления пирита в сероцветных отложениях указывают на вероятное присутствие при рудоотложении сероводорода, обусловленное микробиальной деятельностью. Установленная изменчивость изотопного состава серы пиритов свидетельствует о флуктуации окислительно-восстановительной обстановки и разностепенном бактериальном восстановлении сульфат иона в угленосных отложениях, что повлияло на изотопное фракционирование серы. Анализ изотопии серы пиритов подтверждает инфильтрационный генезис месторождения.

➤ Впервые проведенное, для урановых месторождений Монголии, изучение глубокосорбированных углеводородных газов в осадочной рудовмещающей толще подтверждает буроугольную стадию преобразования углей, выявляет связь аномальных концентраций ОУВ с участками урановой минерализации и указывает на различный состав ОУВ в различных стратиграфических уровнях оруденения.

➤ Состав рудной минерализации благоприятен для извлечения серноокислотным выщелачиванием. Результаты лабораторного выщелачивания рудной пробы с нарушенной структурой подтверждают

принципиальную возможность высокой степени извлечения металла из руд сернокислотными растворами с концентрацией  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5-20 г/л.

## **Глава 5. Вопросы генезиса месторождения Ульзит**

Представленные выше данные позволяют сделать вывод о решающей роли эпигенетических окислительно-восстановительных рудоформирующих процессов на месторождении Ульзит. Они связаны с древним грунтовым окислением и фронтом субпластового окисления, развивающимся от западного борта депрессии и с севера. Формирование рудоконтролирующей окислительно-восстановительной зональности обусловлено процессами гипергенеза и взаимодействием кислородсодержащих ураноносных вод с богатыми органическим веществом угленосными меловыми отложениями осадочного чехла Ульзитинской депрессии.

Следует отметить, что одновременное наличие рудоконтролирующего грунтового и пластового эпигенетического окисления отличает месторождение Ульзит от ряда других месторождений сходного генезиса Монголии и Забайкалья.

Активный гидродинамический режим и миграция урана в виде комплексного уранил-иона  $(\text{UO}_2)^{+2}$  являются причинами формирования рудных залежей на контрастном геохимическом барьере на границах зоны окисления с сероцветными угленосными отложениями. Фронт грунтово-пластового эпигенетического окисления, связанный с движением субнапорных кислородонасыщенных подземных вод малого артезианского бассейна, в условиях аридного климата, развивался вглубь впадины из области питания – возвышающегося обрамления депрессии, сложенного кристаллическими породами гранитного состава с повышенным радиогеохимическим фоном.

По-видимому, перераспределению урана также способствовало его более интенсивное выщелачивание из кор выветривания гранитных пород

обрамления, формировавшихся в гумидной обстановке на этапе осадконакопления угленосных меловых отложений. Кроме того, интенсивное выщелачивание урана велось из аркозов, широко распространенных в прибортовой части депрессии.

Проницаемые нижнемеловые отложения и перекрывающие их верхнемеловые грубообломочные отложения являлись областью транзита. Эпигенетическое окисление развивалось по наиболее проницаемым грубообломочным пестроцветно-красноцветным отложениям и выклинивалось при достижении менее проницаемых сероцветных отложений, создающих контрастный восстановительный геохимический барьер рудообразования, в основном, за счет присутствия углефицированного органического вещества.

Наличие малого артезианского бассейна с активным водообменом в Ульзитинской депрессии подтверждено результатами гидрогеологических наблюдений при проведении буровых работ, в том числе по ряду самоизливающихся скважин. Кроме того, допускается рудоформирующее значение грунтовых и пластовых подземных вод субартезианского бассейна крупного конуса выноса мелового возраста, внешний контур которого контролирует рудоносные зоны месторождения. Его верхняя часть предположительно характеризовалась активным инфильтрационным водообменом, а в краевых фациях, где локализовано оруденение, формировался застойный водообмен с восстановительными геохимическими обстановками. Из этого следует, что окислительный эпигенез является результатом нисходящего движения грунтовых и артезианских подземных вод, содержащих кислород.

Не менее важным рудоконтролирующим фактором на месторождении является резкая литолого-фациальная изменчивость рудовмещающих меловых отложений. В этом также есть его отличительная черта от других гидrogenных месторождений урана Монголо-Забайкальского региона. Многоярусные рудоносные зоны Ульзитинского месторождения залегают

субсогласно не только с границей выклинивания фронта эпигенетического окисления, но и с границами литолого-фациальной зональности.

Образование наиболее богатых руд (десятые доли % урана) с восстановленной формой урановой минерализации (урановые черни, в т.ч. фосфор содержащий коффинит) происходило на границе грубообломочных пород пестроцветно-красноцветной молассы с угленосными озерно-болотными сероцветными отложениями. Скопления пирита в сероцветных отложениях указывают на вероятное присутствие при рудоотложении сероводорода, обусловленное микробиальной деятельностью. Более бедные руды, в виде линз и маломощных тел субпластовой морфологии, прослеживаются в толще сероцветных отложений. Это связано с наличием шлейфов грубообломочного пролювия, внедрившихся в краевую часть озерного бассейна, и присутствием локальных водоупоров (глинистых алевроитов, глинистых песчаников, в меньшей степени маломощных прослоев бурых углей, углистых глин) в составе сероцветной толщи.

Эпигенетический генезис урановой минерализации и постседиментационная инфильтрация с участием среды микробиальной сульфат-редукции косвенно подтверждается результатами изотопного анализа серы пиритов из рудовмещающих отложений (см. табл. 4.9). Широкий диапазон значений изотопного состава серы указывает на изменчивость окислительно-восстановительных условий рудоформирующей системы в зоне гипергенеза.

Кроме того, повышенное содержание остаточных глубокосорбированных углеводородных газов, определенное методом газовой хроматографии в образцах из рудовмещающей толщи (см. табл. 4.10), также свидетельствует о решающей роли восстановительного геохимического барьера с участием микробиальных процессов газообразования. Наибольшие содержания остаточных углеводородов соответствуют участкам с рудной урановой минерализацией.

В формировании месторождения представляется значительной роль тектонических зон различного ранга. Как отмечено выше, позиция района месторождения Ульзит соотносится с региональной металлогенической позицией и приурочена к региональной ураноносной зоне Центрально-Монгольской складчатой системы в Восточном Монголо-Забайкальском рифтовом поясе. Региональные фрагменты глубинных разломов и границы крупных литосферных блоков формируют структурный план региона, в том числе структуроформирующие границы Ульзитинской депрессии, как одной из систем субпараллельных зон континентального рифтогенеза. Геодинамический режим определил образование грабенообразного асимметричного тектоно-осадочного бассейна с уступообразными бортами и глубокой осевой частью. Кроме того, видимо, имели место пульсационные этапы воздымания горного обрамления депрессии и соответствующий характер аккумуляции, что нашло отражение в ритмичности толщи и контрастных литолого-фациальных переходах меловых отложений прибортовой части.

Намечено влияние локальных кон- и постседиментационных тектонических нарушений непосредственно на участке месторождения. Так, серия поперечных разломов С-З и С-В простирания, по всей видимости, играла немаловажную роль гидродинамических и геохимических барьеров на стадии осадконакопления и формирования рудных залежей. Наиболее контрастная рудоформирующая обстановка сложилась в северной, наиболее богатой, части месторождения. В ней установлен узел пересечения разломов, что могло предопределить изменение гидродинамического режима и условий осадконакопления. В этой части месторождения происходило отложение большего количества органического вещества, в последствии послужившего определяющим при формировании контрастного восстановительного геохимического барьера. Кроме того, один из поперечных северо-западных разломов контролирует осевую часть мелового конуса выноса, вдоль внешней границы которого локализуется урановая минерализация.

Следует отметить дискуссионную роль приразломных процессов эпигенетических изменений рудовмещающих пород, предположительно обусловленных подводом газообразных восстановителей из глубоких частей земной коры. Влияние таких процессов на формирование геохимических барьеров и, как следствие, локализация контрастного уранового оруденения, видимо, также имеет место на месторождении Ульзит. Об этом свидетельствуют косвенные признаки, такие как вторичные изменения цветовой окраски рудовмещающих пород (оглеение), зоны интенсивной эпигенетической пиритизации и аргиллизации в отдельных приразломных рудных сечениях, интенсивная гематитизация низов разреза в южной части месторождения, общая линейная форма месторождения в плане и приуроченность его к меридиональной тектонической зоне.

Одной из задач изучения изотопного состава серы пиритов, а также состава и содержаний остаточных углеводородных газов в рудовмещающей осадочной толще месторождения был поиск доказательств в подтверждение гипотезы о возможном присутствии потока глубинных газовых восстановителей по долгоживущим тектоническим зонам меридионального простирания. Как указано выше, рудоконтролирующее значение таких зон зафиксировано на месторождении, а также отмечалось ранее для месторождений других полезных ископаемых в регионе [13]. Так, закономерности распределения месторождений флюорита, подавляющее большинство которых, также как и урана, приурочено к Восточному Монголо-Забайкальскому рифтовому поясу, связывают с тектоническими зонами меридионального простирания [6,30]. По-видимому, такие зоны растяжения служили рудоподводящими каналами для фтороносного, а с учетом одноэтапности формирования гидротермальной флюоритовой и урановой минерализации, и ураноносного флюида. Эти же долгоживущие зоны могли служить транзитными путями подвода газовых восстановителей, в первую очередь, водорода, на этапах формирования водородных месторождений урана. Такие предположения были сделаны для других

инфильтрационных месторождений урана Монголии [10,59,69]. Однако, результаты исследований изотопного состава серы пиритов и остаточных углеводородных газов в рудовмещающих отложениях месторождения Ульзит неоднозначны и пока недостаточны для вывода о влиянии глубинных газовых восстановителей на формирование урановых руд.

Другим дискуссионным вопросом генезиса месторождения Ульзит является предполагаемая многостадийность формирования его ураноносных залежей. Первоначально такое предположение было сделано в ходе анализа морфологии рудоносных зон. Большой размах урановой минерализации по глубине, многоярусность рудоносных зон и их морфология указывают на длительность рудообразования. При изучении вещественного состава руд, в частности, форм урановой минерализации, эти предположения нашли подтверждение. Так, определения двух разновалентных минеральных форм урана  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$  и их различных форм выделения (кристаллическая и гелеобразная нераскристаллизованная) указывают на неравновесность геохимической среды и продолжающийся процесс миграции и перераспределения урана вплоть до настоящего момента в нестабильных окислительно-восстановительных условиях.

На длительность рудообразующего процесса на месторождении также указывают результаты исследования *радиационных дефектов* в зернах кварца из рудовмещающей толщи. Изучение 32 образцов кварцевых зерен из рудоносных меловых отложений месторождения Ульзит проведены методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в лаборатории ВИМС им. Федоровского (г. Москва), под руководством д. г.-м. н. Леонида Тихоновича Ракова. Метод *радиационных дефектов* основан на явлении возникновения дефектов кристаллической структуры в кварце под воздействием естественного радиационного облучения. В кварце наблюдается несколько типов структурных дефектов, имеющих радиационное образование. Они имеют различную структуру, термическую стабильность и могут

регистрироваться разными спектрометрическими методами [85,86,87,89]. Наиболее надежными палеодозиметрическими свойствами обладают  $E_1$ -центры [72,73,74,130]. Их природу связывают с кислородными вакансиями в кристаллической структуре кварца. Обнаружено, что наиболее активно  $E_1$ -центры образуются при  $\alpha$ -облучении. Процесс накопления радиационных дефектов может продолжаться в течении сотен миллионов лет. При этом их концентрация  $C_E$  в кварце растет таким образом, что тангенс угла наклона начального участка графика зависимости  $C_E(C_U)$  увеличивается пропорционально времени облучения  $t$ . Это свойство зависимости  $C_E(C_U)$  используется для датирования месторождений урана [72,74,85,87,89,110].

Измерение концентраций радиационных дефектов в образцах кварца методом ЭПР проводилось на спектрометре ER-420 (фирма "Bruker", Германия) с использованием стандартных образцов концентраций. Запись спектров ЭПР и их анализ осуществлялись по стандартной методике [89]. Перед измерением исследуемые образцы проходили специальную пробоподготовку, которая заключалась в отмучивании проб, их расситовке и отборе кварцевых зерен приблизительно одинаковой крупности фракция (-0.25+0.1) мм.

Результаты измерений концентрации  $E_1$ -центров в образцах кварца приведены ниже (табл. 5.1). В спектрах ЭПР обнаружено присутствие сигналов, связанных с  $E_1$ -центрами. Их интенсивность варьируется в пределах одного порядка. На основе использования стандартных образцов концентраций был проведен расчет количества радиационных дефектов в каждой из исследованных проб кварца. Значения даны в условных единицах. Количественно 1 усл.ед.=  $4 \times 10^{14}$  дефектов/грамм.

Интерпретация полученных данных проводилась с привлечением результатов измерения содержаний урана  $C_U$  в образцах пород, из которых были выделены кварцевые зерна. В данном случае использовались данные интегрального гамма-каротажа, как наиболее достоверные из имеющихся. Целью исследований являлось определение характера зависимости

концентрации  $E_I$ -центров в образцах кварца от величины  $C_U$ . Для этого был построен и рассмотрен график  $C_E(C_U)$ , (рис.5.1). Номера точек на этом графике отвечают номерам образцов в таблице (табл. 5.1).

Таблица 5.1

*Результаты исследования образцов кварца рудовмещающих отложений месторождения Ульзит (Монголия) методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)*

| №  | Скважина | Образец     | Глубина, м | $C_E$ , усл.ед. <sup>1</sup> | $C_U$ , ppm |
|----|----------|-------------|------------|------------------------------|-------------|
| 1  | UL-36450 | EPR-36450-1 | 32.8       | 11                           | 320         |
| 2  | UL-36450 | EPR-36450-2 | 33.3       | 13                           | 1270        |
| 3  | UL-36450 | EPR-36450-3 | 34.6       | 10                           | 560         |
| 4  | UL-36450 | EPR-36450-4 | 35.9       | 13                           | 650         |
| 5  | UL-36450 | EPR-36450-5 | 38.8       | 4.6                          | 70          |
| 6  | UL-36450 | EPR-36450-6 | 52.9       | 24                           | 490         |
| 7  | UL-36450 | EPR-36450-7 | 54.5       | 7.4                          | 440         |
| 8  | UL-36450 | EPR-36450-8 | 55.8       | 14                           | 70          |
| 9  | UL-36450 | EPR-36450-9 | 57.8       | 9.0                          | 90          |
| 10 | UL-36383 | EPR-36383-1 | 70.0       | 51                           | 9190        |
| 11 | UL-36383 | EPR-36383-2 | 74.5       | 6.2                          | 160         |
| 12 | UL-36384 | EPR-36384-1 | 14.5       | 11                           | 250         |
| 13 | UL-36384 | EPR-36384-2 | 15.4       | 12                           | 320         |
| 14 | UL-36384 | EPR-36384-3 | 49.5       | 18                           | 650         |
| 15 | UL-36384 | EPR-36384-4 | 50.5       | 18                           | 370         |
| 16 | UL-36384 | EPR-36384-5 | 52.5       | 5.2                          | 120         |
| 17 | UL-36384 | EPR-36384-6 | 172.9      | 6.2                          | 420         |
| 18 | UL-36384 | EPR-36384-7 | 174.2      | 12                           | 750         |
| 19 | UL-36384 | EPR-36384-8 | 175.2      | 34                           | 1473        |
| 20 | UL-36384 | EPR-36384-9 | 176.5      | 7.1                          | 20          |
| 21 | UL-36419 | EPR-36419-1 | 46.1       | 8.5                          | 310         |
| 22 | UL-36419 | EPR-36419-2 | 47.6       | 4.8                          | 140         |
| 23 | UL-36419 | EPR-36419-3 | 51.7       | 3.6                          | 220         |
| 24 | UL-36419 | EPR-36419-4 | 117.7      | 7.5                          | 1460        |
| 25 | UL-36419 | EPR-36419-5 | 119.0      | 5.7                          | 140         |
| 26 | UL-36419 | EPR-36419-6 | 170.7      | 4.2                          | 170         |
| 27 | UL-36409 | EPR-36409-1 | 34.5       | 11                           | 440         |
| 28 | UL-36409 | EPR-36409-2 | 36.6       | 9.1                          | 260         |
| 29 | UL-36409 | EPR-36409-3 | 62.1       | 11                           | 300         |
| 30 | UL-36409 | EPR-36409-4 | 75.8       | 18                           | 350         |
| 31 | UL-36409 | EPR-36409-5 | 95.4       | 6.0                          | 100         |
| 32 | UL-36418 | EPR-36418-1 | 92.4       | 9.7                          | 300         |

Анализ расположения экспериментальных точек на графике показывает, что на месторождении Ульзит протекали сложные полистадийные процессы, связанные с перераспределением урана в породах. Известно, что для осадочных отложений мелового возраста с кларковым

содержанием урана концентрация  $E_I$ -центров  $C_E \approx 2$  усл.ед. При полученном распределении точки области графика существенно ниже прямой (пробы 18, 2, 24, 10) соответствуют образцам кварца из пород с привнесенным ураном, а точки выше ее (пробы 19, 8, 6 и др.) – зонам с вынесенным ураном (рис. 5.1).

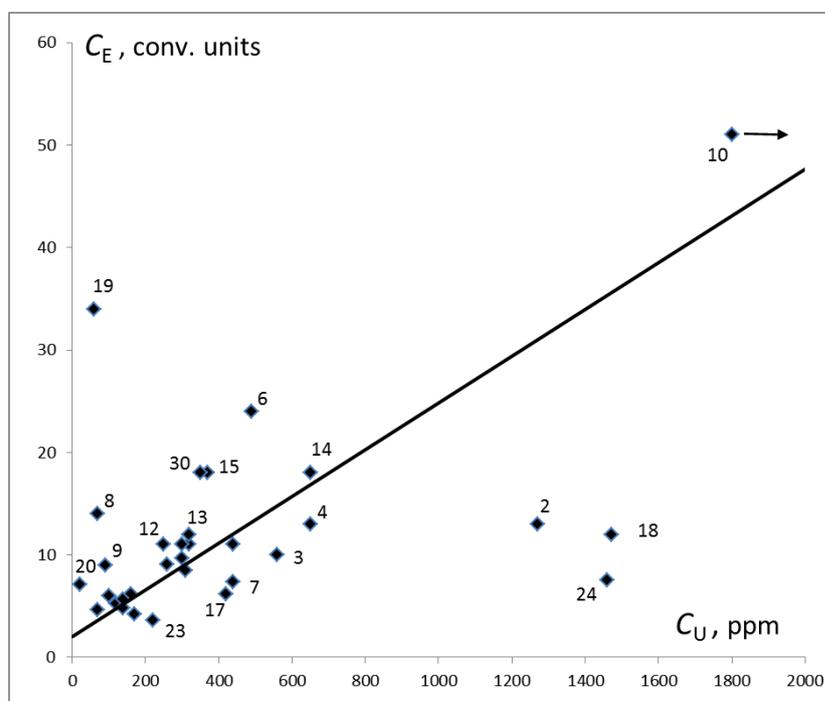


Рис.5.1. Экспериментальная зависимость концентрации  $E_I$ -центров радиационных дефектов ( $C_E$ ) от содержания урана ( $C_U$ ) в кварце рудовмещающих отложений месторождения Ульзит

Для оценки возраста руд месторождения Ульзит использовалось значение тангенса угла наклона графика зависимости  $C_E(C_U)$ . По полученным данным, оно приблизительно равно  $9 \times 10^{16}$  дефектов/г·%. В последующем было проведено сравнение тангенса угла наклона прямой с аналогичным параметром эталонного месторождения. В качестве эталонного взято месторождение Имское в Забайкалье, близкое по геологическому строению к месторождению Ульзит, руды которого детально изучены геохронологическими методами. В том числе методом ЭПР экспериментально установлено значение параметра тангенса  $1.9 \times 10^{17}$  дефектов/г·%, которое применялось ранее во многих расчетах по датированию урановых руд методом радиационных дефектов.

Проведенные измерения и расчеты позволили дать оценку возрасту руд месторождения Ульзит, как полистадийную с временным интервалом формирования уранового оруденения в пределах 50-7 млн. лет, что сопоставимо с периодом аридизации климата в палеогене и неогене. Однако, результаты изучения радиационных дефектов не могут считаться однозначно достоверными и носят ориентировочный предварительный характер. Недостатками исследования можно считать некоторые методические аспекты (проботбор, использование в расчете концентраций урана на основе гамма-каротажа, эталонные образцы и др.), а также физические факторы, влияющие на концентрацию и консервацию радиационных дефектов в кварце. Одним из таких факторов является эффект термодеструкции радиационных дефектов, возникающий при нагревании. Учитывая наличие вулканических образований в районе месторождения Ульзит, в том числе и кайнозойского возраста, это могло повлиять на количественные характеристики радиационных дефектов и искажение реальной картины геохронологии рудообразования.

На основании впервые полученных геологических и прецизионных аналитических данных о вещественном составе руд предполагается следующая *генетическая схема* образования урановой минерализации месторождения Ульзит:

1. Образование крупного мезозойского текто-осадочного бассейна – Ульзитинской депрессии в поясе континентального рифтогенеза Восточной Монголии, где геодинамическая обстановка растяжения и влияние глубинных разломов обусловили формирование благоприятных условий для накопления мощной толщи слаболитифицированных меловых угленосных отложений.
2. Пульсационные воздымания горного обрамления депрессии и накопление отложений мелового возраста крупного конуса выноса (наземной дельты) в краевой части озерно-болотного бассейна.

3. Поступление кислородсодержащих ураноносных вод в условиях аридного климата из размываемых гранитных пород обрамления и аркозов прибортовой части депрессии с повышенным радиогеохимическим фоном.
4. Распространение грунтового и субпластового окисления, связанного с инфильтрацией подземных вод по проницаемым грубообломочным пестроцветно-красноцветным аллювиально-пролювиальным отложениям.
5. Формирование контрастных геохимических барьеров, контролирующих урановую минерализацию на границе зон окисления с малопроницаемыми сероцветными угленосными озерно-болотными отложениями, углефицированное органическое вещество которых играло роль основного восстановителя.
6. Рудоотложение, обусловленное восстановлением урана, в результате микробиальной деятельности анаэробных сульфат-редуцирующих бактерий при окислении органического вещества озерно-болотных сероцветных отложений.
7. Цикличность и многостадийность рудоформирующих процессов, в первую очередь за счет пульсационного характера осадконакопления рудовмещающей толщи и гидродинамического режима (циклы орогенеза-денудации горного обрамления депрессии)
8. Непрерывное перераспределение урана, в том числе его переотложение в уранильной форме, обусловленное окислением первичных урановых руд в результате дальнейшего непрерывного поступления кислородсодержащих вод.

## Заключение

В представленной работе рассмотрены данные, полученные в ходе изучения нового месторождения урана гидрогенного типа Ульзит в Восточно-Гобийском районе Монголии, открытого на основе авторского прогноза. Впервые автором изучены ураноносные отложения Ульзитинской депрессии, закономерности локализации оруденения, вещественный состав руд месторождения и их геотехнологические свойства на основе собственной документации керна, анализа гамма- и электро-каротажа, образцов рудовмещающих пород, отобранных для геохимического, радиологического, литологического, гранулометрического, рентгенофазового, электронно-микроскопического, люминесцентного, изотопного, газогеохимического и др. видов анализов, а также мелкообъемной пробы для лабораторного геотехнологического опыта. Проанализированы разрезы по 27 опорным скважинам с хорошим выходом керна (около 3000 п. м с сопоставительным анализом электрического и гамма-каротажа (около 25000 п.м.)

В работе решен ряд задач и сделаны следующие выводы:

1. Проанализирована позиция Ульзитинской депрессии в структурах Монголии, которая наряду с геодинамическим режимом развития региона определила формирование протяженного глубокого грабенообразного тектоно-осадочного малого артезианского бассейна, благоприятного для осадконакопления рудовмещающих толщ мелового возраста и активного гидродинамического режима. Фрагменты региональных глубинных разломов северо-восточного простирания системы Главного Монгольского Линеамента (ГМЛ) и Восточно-Гобийского сдвига – Ундуршилинский и Делгэрский разломы, формируют ассиметричный контур депрессии, расположенной на границе двух литосферных блоков с различными геодинамическими характеристиками. Северо-западные разломы определяют блоковое строение депрессии. Меловой конус выноса, внешний контур которого контролирует урановую минерализацию,

приурочен к одному из северо-западных разломов. Меридиональные тектонические зоны, по-видимому, также имеют рудоконтролирующее значение и, возможно, являются проводниками глубинных газовых восстановителей, создающих контрастную геохимическую среду для гидрогенного рудообразования.

2. Впервые в прибортовой части Ульзитинской депрессии проведено стратиграфическое расчленение рудовмещающего осадочного чехла, в строении ритмичной меловой толщи континентальных отложений выделено три свиты – манлайская и хухтэгская нижнего мела и баянширинская верхнего мела. Определены две литогенетические ассоциации – красноцветно-пестроцветные грубообломочные пролювиальные и сероцветные угленосные мелководного озерно-болотного бассейна. Установлены контрастные литолого-фациальные взаимоотношения между породами двух ассоциаций. Впервые выделены маркирующие поверхности – маломощные горизонты бурых углей, границы ритмов и эрозионные поверхности, позволяющие проводить корреляцию разрезов по керну опорных скважин, гамма- и электро-каротажу бескерновых скважин.

3. Впервые установлена ленто- и пластообразная, линзовидная и роллоподобная морфология и многоярусное строение рудоносных зон месторождения с большим (более 100 м) размахом оруденения по глубине. Выделены Северная и Южная части месторождения, различающиеся по продуктивности оруденения и геологическим условиям. Определены основные рудоконтролирующие факторы – эпигенетическое палеогрунтовое и субпластовое окисление, развивающееся по наиболее проницаемым грубообломочным отложениям пестроцветно-красноцветной формации и резкая литолого-фациальная изменчивость рудовмещающей толщи. Установлено, что ураноносные зоны приурочены к границе окисленных грубообломочных пестроцветно-красноцветных пород с первично сероцветными угленосными, менее проницаемыми отложениями озерно-болотных фаций. Классифицированы вторичные минералообразования в

рудовмещающих отложениях. Наряду с доминирующими признаками эпигенетического окисления, в керне установлены мощные и протяженные зоны вторичного осветления, по-видимому, связанные с процессами низкотемпературного гидротермального преобразования типа аргиллизации. Отмечена связь зон вторичного осветления с рудоносными и тектоническими зонами, признаки которых также фиксировались при документации керна.

4. Впервые изучен оригинальный вещественный состав руд. Некоторые аналитические методы исследования (газовая геохимия, изучение изотопного состава серы пиритов и радиационных дефектов в кварце) были применены впервые не только для руд месторождения Ульзит, но и в целом для урановых месторождений Монголии. Установлен монометальный состав рудной минерализации и её радиологические свойства. Методами электронной сканирующей микроскопии предварительно определен фазовый состав тонкодисперсной урановой минерализации, представленный минералами 4-х и 6-ти валентного урана – в основном Са-фосфосиликатом уранила и фосфор-содержащим коффинитом, с превалированием уранильной формы. Выявлены две формы выделения урановой минерализации – кристаллическая и гелеобразная нераскristализованная. Проанализирован состав и содержание глубокосорбированных углеводородных газов в рудовмещающей толще месторождения. Установлено, что максимальные концентрации импрегнирующих газов приурочены к участкам рудной урановой минерализации. Также, зафиксировано различие в составе остаточных углеводородов на разных стратиграфических уровнях рудоносных зон. Проведен лабораторный опыт по статическому выщелачиванию урана из руд месторождения, результаты которого показали, что их вещественный состав благоприятен для применения сернокислотных растворов с низкой концентрацией  $H_2SO_4$ , позволяющие достигать высоких показателей извлечения урана.

Существо решения вышеупомянутых задач отражено в четырех защищаемых положениях диссертации.

## **Практическое значение работы заключается в следующем:**

1. Открыто новое месторождение урана и создана комплексная геологическая основа для продолжения систематических поисков и разведки новых урановорудных залежей на участке месторождения Ульзит. В дальнейшем, это может быть реализовано в существенном приросте запасов месторождения и улучшением его экономической привлекательности для потенциальной добычи.

2. Выработанная методика выделения маркирующих горизонтов и поверхностей в рудовмещающей меловой толще прибортовой части Ульзитинской депрессии позволяет проводить корреляцию и увязку разрезов с использованием минимального количества опорных керновых скважин при основном объеме бескернового бурения с использованием гамма- и электрокаротажа. Такой подход существенно уменьшает затраты на геологоразведочные работы и ускоряет их производство.

3. Полученные данные о литологических характеристиках рудовмещающей толщи и вещественном составе руд месторождения указывают на возможность применения высокотехнологичного способа СПВ с низкой себестоимостью извлекаемого урана, что важно не только с экономической точки зрения, но и с точки зрения геоэкологии.

4. Анализ форм рудной минерализации, проведенный методами аналитической электронной микроскопии, указывает на превалирование легкоизвлекаемых соединений 6-ти валентного урана, а результаты лабораторного геотехнологического опыта подтверждают потенциальную высокую степень его извлечения с применением слабоконцентрированных серноокислотных растворов.

5. Учитывая нетипичность условий локализации урановой минерализации, предложенная генетическая модель формирования ураноносных залежей может быть принята, как эталонная для поиска однотипных гидрогенных месторождений урана в регионе. Кроме того, на примере месторождения Ульзит показано, что на стадии локального прогноза

дополнительное применение структурных критериев может существенно ускорить выявление новых рудоносных зон.

Следует отметить, что степень изученности месторождения Ульзит все еще невысокая. Относительно хорошо разведана северная часть, в то время как плотность буровой сети в южной части гораздо ниже. Автор считает необходимым продолжить изучение месторождения в южном направлении вдоль внешнего контура мелового конуса выноса и меридиональной тектонической зоны с обязательным бурением опорных керновых скважин. Кроме того, вывод о неравновесной геохимической среде, особенно, в нижних стратиграфических уровнях урановой минерализации, позволяет прогнозировать новые рудоносные зоны в более глубоких горизонтах, что также требует изучения бурением.

Не вполне изученным на месторождении является природа эпигенетического осветления и обеления рудовмещающих отложений. Детальное картирование этих зон требует внимания для уточнения геохимической зональности, а предположение о низкотемпературной гидротермальной природе этих зон требует научного обоснования.

Приведенные в работе данные о минеральном составе урановой минерализации носят предварительный характер, ввиду малочисленности изученных проб по объективным причинам. В дальнейшем, автор рекомендует продолжить изучение минерального состава рудной минерализации методом АСЭМ, отобрать и проанализировать представительную коллекцию образцов из разных ураноносных зон северной и южной части месторождения. Результаты таких исследований помогут скорректировать генетическую модель рудообразования.

Остается не вполне ясным источник урана, а также возможное участие газовых восстановителей, в первую очередь водорода, предположительно поступавших по долгоживущим тектоническим зонам.

Кроме того, на месторождении необходимо более детальное изучение фильтрационных свойств рудовмещающих отложений и проведение

натурного опыта СПВ для окончательного вывода о выщелачиваемости руд и выборе параметров геотехнологической схемы.

### Список литературы

1. Абрамович И.И. Глубинная геодинамика и металлогения урана. Спб: Изд-во СПбУ, 2004. 84 с.
2. Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б., Пинский Э.М. Восточно-Азиатский пояс урановых месторождений лейкократового типа//Региональная геология и металлогения. 2015. №61. С.92-100.
3. Афанасьев А.М., Троицкий Ю.В., Чирцов Л.Д. и др. Проявления уранового оруденения в мезозойско-кайнозойских впадинах // Геологическое строение и ураноносность Восточной Монголии / Ред. А.А.Смыслов. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1981. С.110-117.
4. Бадамгарав Ж. Мезозойская тектоника и флюоритоносность Сайханобинского и Галшарынского районов Монголии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. М.: ГИН РАН, 1983. 188 с.
5. Бадамгарав Ж. Стратиграфия и состав мезозойских вулканогенных и осадочных образований района горы Галшарын-Ула (Восточная Монголия)// М.:Известия Академии Наук СССР, Серия геологическая, №6, 1980. С. 63-72.
6. Бадамгарав Ж., Фрих-Хар Д.И., Волчанская И.К., Комаров Г.Н. Магматические и структурные факторы локализации флюоритовых месторождений Восточной Монголии. Тр. Совм. Сов.-Монг. Научно-исслед. экспедиции. Вып.27. М.: Наука, 1985. С. 63-72.
7. Белова Л.Н. Зоны окисления гидротермальных месторождений урана. М.: Недра, 1975. 158 с.
8. Бойцов В.Е. Геология месторождений урана. М.: Недра, 1989. 302 с.

9. Бровин К.К., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Языков В.Г. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. – Алматы: Гылым, 1997. 384 с.
10. Будунов А. А. Гидрогенные урановые месторождения Монголии // Материалы по геологии урановых месторождений: Инф. сб. Вып. 144. М.: ВИМС, 2002. С. 84-89.
11. Буслов М.М. Террейновая тектоника Центрально-Азиатского складчатого пояса. Электронный журнал Геодинамика и Тектонофизика. Институт Земной Коры СО РАН. Том 5. №3. 2014. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-3-0147>
12. Вахрамеев В.А. Юрские и меловые флоры Монголии и климат этого времени // Известия АН СССР, сер. геол. № 1. 1983. С. 54-58.
13. Волчанская И.К. Морфоструктурные закономерности размещения эндогенной минерализации. М.: Наука, 1981. 239 с.
14. Воронцов А.А. Эволюция фанерозойского рифтогенного магматизма Центральной Азии (на примере полихронной Северо-Монгольско-Забайкальской рифтовой области): геохимия, источники, геодинамика. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Иркутск, Институт геохимии РАН (Сибирское отделение), 2007.
15. Высокоостровская Е.Б., Миронов Ю.Б., Чулуун О. Радиогеохимическая характеристика геологических образований Монголии // Разведка и охрана недр. 2007. №4. С.32-44.
16. Ган-Очир Ж. Разломная тектоника Монголии в структуре Центральной Азии, Улан-Батор – Иркутск, 2014, 147 с.
17. Геологическое строение Монгольской Народной Республики. Т.1-3 / Ред. Н.А.Маринов. М.: Недра, 1973.
18. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования / С.Г.Батулин, Г.В.Грушевой и др. Под ред. А.И.Перельмана. М.: Атомиздат, 1980. 270 с.

19. *Гречухин М.Н.*, Бат-Очир Б., Игнатов П.А. Открытие месторождения Ульзит – пример новой разновидности гидрогенного рудообразования в Восточно-Гобийском районе Монголии // Тезисы третьего международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство», Москва, 2013. С. 38-40.
20. *Гречухин М.Н.*, Дойникова О.А., Игнатов П.А., Рассулов В.А. Условия локализации и минеральный состав руд гидрогенного уранового месторождения Ульзит, Монголия // Геология рудных месторождений, Москва, 2016, т.58, №3. С. 251-266.
21. *Гречухин М.Н.*, Игнатов П.А. Закономерности локализации гидрогенного уранового оруденения месторождения Ульзит в Восточно-Гобийском районе Монголии // Тезисы докладов XI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», Москва, МГРИ-РГГРУ, 2013. С.308-309.
22. *Гречухин М.Н.*, Игнатов П.А. Новое гидрогенное месторождение урана Ульзит в Монголии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, Москва, 2014, №4. С. 27-33.
23. *Гречухин М.Н.*, Игнатов П.А. Строение и состав меловых угленосных отложений прибортовой части Ульзитинской рифтогенной депрессии в Восточно-Гобийском районе Монголии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, Москва, 2016, № 6. С. 22-28.
24. *Гречухин М.Н.*, Л. Ганболд, Н. Мунхбаатар. Отчет о геологоразведочных работах с подсчетом запасов на месторождении урана Ульзит в Сухэ-Баторском аймаге Монголии// Геологические Фонды Монголии, рег. № 6855, Улаанбаатар, 2011.
25. *Гречухин М.Н.*, Мөнхцэнгэл Ц., Игнатов П.А. Зуун бусэд шинээр нээгдсэн Өлзитийн ураны гидрогени ордын геотектоникийн онцлог, туунийг ашиглах боломж // Хайгуулчин, Улаанбаатар, 2014, №50. С. 235-241.

26. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М., Наука, 1974. 274 с.
27. Губкин Н.В., Смирнов А.А. Поисковые критерии и основы прогноза гидрогенных урановых месторождений. М.: Атомиздат, 1981. 56 с.
28. Данилевич А.М., Кириков А. Д., Павшуков В.В. Метод радиационных дефектов (Методические рекомендации). М.: Министерство геологии СССР, 1982. 43 с.
29. Данчев В.И., Стрелянов Н.П. Экзогенные месторождения урана. Условия образования и методы изучения. М.: Атомиздат, 1979. 248 с.
30. Добролюбов В.А., Филиппова И.Б. Структура, вещественный состав и флюоритность северо-западной части Восточного Монголо-Забайкальского рифтового пояса (На примере Северо-Керуленского района), Геология и полезные ископаемые Монгольской Народной Республики, Труды МГЭ, Выпуск III, М."Недра", 1990. С.108 – 123.
31. Дойникова О.А. Месторождения урана с новым типом черневой минерализации: фосфатным // Геология рудных месторождений.-2007.- Т.49, №1. С.89-96.
32. Дойникова О.А. Минералогия урана восстановительной зоны гипергенеза (по данным электронной микроскопии). М.: ФИЗМАЛИТ, 2012. 216 с.
33. Дойникова О.А. Фосфатный состав урановых черней как показатель их биогенного генезиса // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, Москва, 2016, № 5. С. 18-25.
34. Дойникова О.А., Сидоренко Г.А., Сивцов. А.В. Фосфосиликаты четырехвалентного урана. Докл. РАН. 2014. т.456. № 6. С.703–706.
35. Дойникова О.А., Солодов И.Н., Черток М.Б. Вещественный состав урановых руд м-ния Далматовское. Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. №6. С. 540–549.
36. Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Мохов А.В. Новый фосфатный тип урановых руд в России. Докл. РАН. 2014. Т. 457. № 4. С. 434–438.

37. Евсеева Л.С., Перельман А.И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.,1962. 239 с.
38. Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г. Парагенетические ассоциации континентальных отложений (семейство гумидных парагенезисов). Труды ГИН. Вып. 363. М.: Наука, 1982. 211 с.
39. Живов В.Л., Бойцов А.В., Шумилин М.В. Уран: геология, добыча, экономика. М.: Изд-во ВИМС, 2012. 304 с.
40. Зарипов Н.Р., Игнатов П.А., Ковальчук О.Е., Лисковая Л.В., Килижеков О.К. Природа процессов осветления красноцветных пород, вмещающих кимберлиты Накынского алмазоносного поля Якутии // Руды и металлы. 2017. № 1. 2017. С. 67-74.
41. Зем К., Хертриг Т., Доржготов Э. Окончательный отчет о поисково-съемочных работах, проведенных Совместной Геологической Экспедицией МНР-ГДР с 1976 по 1981 г. в районе между городами Чойбалсан, Барун-Урт, Тумен-Цогт и Бурен-Цогт с целью выделения районов для дальнейших работ на полиметаллические скарны// Геологические Фонды Монголии, рег.№ 3625, Улаанбаатар, 1982. 640 с.
42. Зоненшайн Л.П. В кн.: Геология Монгольской Народной Республики, Том II, Магматизм, метаморфизм, тектоника, М.: Изд-во “Недра”,1973. С.690-699.
43. Зоненштайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. – М. Недра, 1976. 231 с.
44. Игнатов П.А. О методике расчленения континентальных отложений // Изв. Вузов. Геология и разведка. 1977. №9. С. 24-28.
45. Игнатов П.А. Палеогидрогеологические предпосылки уранового рудообразования в позднепалеозойских наложенных впадинах // Руды и металлы. №3-6. 1993. С. 25-31.
46. Игнатов П.А. Палеогидрогеология рудообразования: учебное пособие. – М.: РГГРУ, 2012. 115 с.

47. Игнатов П.А. Рудообразование в позднепалеозойских впадинах Северного Казахстана и Минусинского региона. М.: ВИМС.2005. 348 с.
48. Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. М.: ЗАО «Геоформмарк», 2000. 608 с.
49. Коваленко В.И., Зайцев Н.С., Ярмолюк В.В. и др. Основные геодинамические этапы развития территории Монголии и их металлогеническая специфика // Эндогенные рудные формации Монголии. М.: Наука, 1984. С. 3-40.
50. Кодрул Т.М., Костина Е.И., Герман А.Б. Моисеева М.Г., Альберг А. Раннемеловые флористические комплексы Центральной Монголии: палеоклиматические, палеоэкологические и палеогеографические реконструкции // Тезисы VII чтений памяти А.Н. Криштофовича, Санкт-Петербург, 26-27 октября 2010 г. Спб.: БИН РАН, 2010. С. 12.
51. Комаров Ю.В., Белоголовкин А.А. К положению Байкальского рифта на Азиатском континенте, В кн.: Проблемы разломной тектоники, Наука, Новосибирск, 1981, С.61-71.
52. Кондаков С.Н., Благонравова В.А. Итоги поисково-разведочных работ на уран в МНР за период 1946-61 г.г. Отчёт по работам контракта № 9164, 1961 год. Фонды БФ «Сосновгеология» АО Урангео. Инв. № 02845.
53. Красилов В.А. Ископаемые растения Манлая // Раннемеловое озеро Манлай. М.: Наука. 1980. С. 40-42.
54. Лебедев В.С., Игнатов П.А., *Гречухин М.Н.*, Стукалова И.Е. Исследование остаточных углеводородородов в породах уранового месторождения Ульзит, Монголия// Тезисы докладов XII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», Москва, МГРИ-РГГРУ, 2015. С. 153.
55. Лебедев В.С., Стукалова И.Е. Особенности состава углеводородов остаточных газов бурых углей. Геология и разведка. 2014.№ 4. С. 49-52.

56. Максимова М.Ф., Шмариович Е.М. Пластово-инфильтрационное рудообразование. М.: Недра, 1993. 160 с.
57. Макулбеков Н.М. Стратиграфическое положение альбских и поздне меловых флор Южной Монголии // Стратигр. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 6. С. 53-68.
58. Мартинсон Г.Г., Шувалов В.Ф. Стратиграфическое расчленение верхней юры и нижнего мела юго-восточной Монголии// М.: Известия Академии Наук СССР, Серия геологическая, №10, 1973.
59. Машковцев Г.А. и др. Уран-полиэлементное оруденение в меловых отложениях Монголии // Тезисы докладов Межведомственной литологической комиссии АН СССР. М., 1992.
60. Мезозойские озерные бассейны Монголии / Отв. ред. Г.Г. Мартинсон, Л.: Наука, 1982. 211 с.
61. Металлогения урана Монгольской Народной Республики. Оценка перспектив ураноносности МНР на основе составления прогнозно-металлогенической карты м-ба 1:1500000. Отчет по теме № 612 ВСЕГЕИ и геолзадания МГСЭ-19 / Отв. исп. Кочкин Г.Б. Л.:ВСЕГЕИ, 1985. Росгеолфонд. Инв. № 6914.
62. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы.М.:ФБУ«ГКЗ»,2007.С.62. URL:<http://www.gkz-rf.ru/tverdye-poleznye-iskopaemye>. Дата обращения 01.04.2011.
63. Методы изучения урановых месторождений в осадочных и метаморфических толщах / Под ред. Я.Н.Белявцева и В.Н.Данчева. М.: Недра, 1985. 323 с.
64. Методы ядерно-геофизического каротажа на месторождениях урана (научно-практическое издание) / И.М.Хайкович, Н.А.Мац, Г.И.Ганичев. СПб: ФГУНПП «Геологоразведка», 2007. 314 с.
65. Милановский Е.Е. Рифтовые зоны континентов. М.: Недра, 1975. 279 с.
66. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. – М.: Недра.1987.297 с.

67. Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов: Учебное пособие для вузов / В.Я.Терхов, Н.И.Егоров, И.М.Баюшкин, Д.А.Минеев. М.: Энергоатомиздат, 1987. 360 с.
68. Миронов Ю.Б. Металлогения урана восточной части Центрально-Азиатского подвижного пояса. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. СПб, ВСЕГЕИ. 2009. 390 с.
69. Миронов Ю.Б. Уран Монголии. СПб.: Из-во ВСЕГЕИ, 2006. 199 с.
70. Миронов Ю.Б., Грушевой Г.В., Печенкин И.Г. Связь металлогении урана с новейшими геодинамическими процессами на востоке Евразийского континента // Региональная геология и металлогения. 2008. №34. С.79-91.
71. Митрофанов Е.А. Условия локализации и морфология рудных залежей Хиагдинского месторождения // Мат-лы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Вып. 147. М.: ВИМС, 2005. С.109-123.
72. Моисеев Б.М. Природные радиационные процессы в минералах. М.: Недра, 1985. 174 с.
73. Моисеев Б.М., Раков Л.Т. Образование Al- и E'-центров в кварцах под действием природного облучения // Докл. АН СССР. 1975. Т. 223. № 5. С. 1215-1217.
74. Моисеев Б.М., Раков Л.Т. Палеодозиметрические свойства E<sub>1</sub>-центров в кварце // Докл. АН СССР. 1977. Т. 233. №4. С. 679-682.
75. Моисеев Б.М., Стрелянов Н.П., Давыдов М.А., Раков Л.Т. Изучение миграции урана в продуктивных терригенных отложениях методом ЭПР-спектроскопии // Геохимия. 1980. №7. С. 1081-1088.
76. Монгол Улсын Геологийн зураг. Масштаб 1:1000000 /Ред. Ө.Төмөртогоо. Улаанбаатар, 1999.

77. Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Саныгин С.С., Херскова Т.Н. Центрально-Азиатский складчатый пояс: геодинамика, эволюция и история формирования // Геотектоника. 1993. №6. С.3-32.
78. Отчет о результатах поисковых работ на уран в юго-западной части Восточно-Монгольского вулканического пояса за 1973 г. (листы L-48-А,Б,В,Г; L-49-В) / Самович Д.А., Полетаев Л.Д. и др. Производственный трест «Зарубежгеология», МГСЭ, 1974. Росгеолфонд. Инв. №4794.
79. Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н. и др. Урановые месторождения Казахстана: (экзогенные). Алматы: Гылым, 1995. 264 с.
80. Печенкин И.Г., Грушевой Г.В. Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Евразии. – М.: РИС «ВИМС», 2015. 224 с.
81. Полянский Б.В., Бадамгарав Ж. Фэновые комплексы юрских континентальных бассейнов западной Монголии. – М.: РАН, Литология и полезные ископаемые, № 5, 1992, С. 133-139
82. Практика переработки уранового сырья / Н.В.Петрова, С.И. Ануфриева, Е.Г.Лихничевкин, И.Г.Печенкин. Под ред. Г.А.Машковцева. М.: ВИМС, 2008. 269 с.
83. Прогнозирование, поиски и оценка урановых месторождений в палеоруслах // Методические рекомендации / Сост. А.Б.Халезов. М.: Изд-во ВИМС, 1999. 153 с.
84. Разведка месторождений урана для отработки методом подземного выщелачивания / М.В. Шумилин и др. М.: Недра, 1985. 208 с.
85. Раков Л.Т. Исследование методами радиоспектроскопии *E*-центров в кварце в приложении к палеодозиметрии: Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М. 1981. 146 с.

86. Раков Л.Т. Природные и искусственно стимулированные радиационные процессы в кварце: сходство и различия // Геохимия, 2003, №7, С. 773-784.
87. Раков Л.Т., Моисеев Б.М. Зависимость объемного распределения  $E_1'$ -центров в кварцевых зернах от дозы природного облучения // Докл. АН СССР. - 1978. - Т. 240. - № 4. - С. 942-944.
88. Рассулов В.А. Люминесцентная спектрометрия циркона, флюорита, шеелита и апатита как показатель рудно-формационного типа месторождений. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. М.: РГГРУ, 2011. 164 с.
89. Регистрация спектров ЭПР  $E_1$ -центров при измерении концентрации радиационных дефектов в кварце: Методические рекомендации /Л.Т. Раков, Б.М. Моисеев, П.О. Орленев. М.:ВИМС, 1981. 16 с
90. Селиванов Е.И. Неотектоника и геоморфология Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1972. 296 с.
91. Сидоренко Г.А., Чистякова Н.И., Чуканов Н.В., Наумова И.С., Рассулов В.А. Калькурмолит: новые данные о составе и строении минерала// Новые данные о минералах.2005. №40. С.29-36.
92. Смыслов А.А. и др. Геологическое строение и ураноносность Восточной Монголии. – Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1981. 156 с.
93. Сорохтин О.Г., Чилингар Дж. В., Сорохтин Н.О. Теория развития Земли: происхождение, эволюция и трагическое будущее. – М.–Ижевск, 2010. 752 с.
94. Стратиграфия мезозойских отложений Монголии / Ред. Н.С.Зайцев. Л.:Наука, 1975. 234 с.
95. Тектоническая карта Монголии, м-б 1:1000000. Под ред. О.Тумуртог, Академия наук Монголии, Агентство минеральных ресурсов Монголии, 2002.

96. Тихонов В.И., Ярмолюк В.В., Гобийский Алтай – южная пограничная структура каледонит Монголии // Геотектоника. 1982. №3. С. 72-83.
97. Уран российских недр / Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К., Шумилин М.В., Щеточкин В.Н. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
98. Урановые месторождения Монголии. – Под ред. Миронова Ю.Б., Шувалова Ю.М. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 304 с.
99. Устинов В.И., Гриненко В.А. Прецизионный масс-спектральный метод определения изотопного состава серы. – М.: Недра, 1965, 96 с.
100. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир. 1989. 589 с.
101. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.:КДУ, 2005. 475 с.
102. Халезов А.Б. Месторождения урана в речных палеодолинах южной окраины Западно-Сибирской плиты // М-лы по геол. м-ний урана, редких и редкоземельных металлов. Информац. сборн. КНТС. Вып. № 148. М.: ВИМС. 2005. С. 133–149.
103. Хасин Р.Р., Суетенко О.Д., Филиппова И.Б. Геодинамические обстановки палеозоя Восточной Монголии // Геология и полезные ископаемые Монгольской Народной Республики. Труды МГЭ, Выпуск I. М.: Недра, 1980. С.20-34.
104. Хосбаяр П. Нижнемеловые угленосные отложения Чойренской впадины и их палеонтологическая характеристика // Труды совместной Советско-Монгольской палеонтологической экспедиции. Вып. 8. М.: Наука, 1979. С. 100-107.
105. Царук И.И., Самович Д.А., Будунов А.А. Уран Монголии // Разведка и охрана недр. М.: ВИМС. 2016. №1. С.27-37.
106. Шор Г.М. Гидрогеологическое районирование Монгольской Народной Республики для целей металлогенического анализа на инфильтрационное урановое оруденение в слаболитифицированных отложениях депрессионных структур // Материалы по геологии

- урановых месторождений: Информ. сб. КНТС. Вып. 84. М.:ВИМС, 1983. С.98-111.
107. Шувалов Ю.М., Пельменев М.Д. Геология и металлогения Забайкалья и Восточной Монголии. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1982. 236 с.
108. Шумилин М.В., Викентьев В.А. Подсчет запасов урановых месторождений. М.: Недра, 1982. 206 с.
109. Щеглов А.Д. Основы металлогенического анализа. М.: Недра, 1980. 293с.
110. Шмариович Е.М. Экзогенные урановые месторождения. Избранные труды. М.: РИЦ ВИМС, 2007. 591 с.
111. Язиков Е.Г. Минералогия урана. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 170 с.
112. Ярмолюк В.В. Особенности структурной позиции континентальных рифтогенных структур Монголии // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1986. №9. С. 3-16.
113. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. – М.: Наука, 1991. 263 с.
114. Badarch G., Cunningham D., Windley B., 2002. A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of central Asia. *Jurnal of Asian Earth Sciences*. 87-110.
115. Boyle, D.R., Littlejohn, A.L., Roberts, A.C. et al., 1981. Ningyoite in Uranium deposits of south central British-Columbia first North American occurrence // *Canad. Mineralogist*. V. 19. № 4. 325–331.
116. Geotectonic map of Mongolia, scale 1:2 500 000, (Editor-in-chief D.Dorjnamjaa, editors R. Barsbold and O.Gerel), prepared and printed by the Cartographic Enterprise of the State Administration of Geodesy and Cartography, Ulaanbaatar, 1998. (Co-authors Badarch G, YA. Bat-Ireedui, O. Gerel, D. Dorjnamjaa, W.D.Cunningham, B.F. Windley, C. Buchan).
117. Graham, S.A., Cope T., Johnson, C.L., Bradley Ritts., 2012. Sedimentary basins of the late Mesozoic extensional domain of China and Mongolia. In:

- Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift Systems and Sedimentary Basins. Elsevier. 443-461.
118. ***Grechukhin, M.N.***, Doinikova, O.A., Ignatov, P.A., Rassulov, V.A. Localization Conditions and Ore Mineralogy of the Ulziit Hydrogenic Uranium Deposit, Mongolia. *Geology of Ore Deposits*, Vol.58, №3, 2016. 224-238.
  119. In situ leach uranium mining: and overview of operations / International Atomic Energy Agency. Vienna, 2016. 76 p.
  120. Johnson, C.L., Webb, L.E.G., Graham, S.A., Hendrix, M.S., Badarch, G., 2011. Sedimentary and structural records of late Mesozoic high-strain extension and strain partitioning, East Gobi basin, southern Mongolia. In: Hendrix, M.S., Davis, G.A. (Eds.), *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: from Continental Assembly to Intercontinental Deformation*. Geological Society of America, Memoir 194. 413-433.
  121. Lamb, M.A., Badarch, G., 2001. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: new geochemical and petrographic constraints. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia—From Continental Assembly To Intracontinental Deformation*, Davis, G.A., Hendrix, M.S. (Eds.). GSA, Special Paper, 117-149.
  122. Lamb, M.A., Hanson, A.D., Graham, S.A., Badarch, G., Webb, L.E., 1999. Left-lateral sense offset of Upper Proterozoic and Paleozoic features across the Gobi Onon, Tost, and Zuunbayan faults in southern Mongolia and implications for other central Asian faults. *Earth and Planetary Sciences Letters* 173, 183-194.
  123. Makoto Ito, Masaki Matsukawa, Takahiro Saito, Douglas J. Nichols., 2006. Facies architecture and paleohydrology of a synrift succession in the Early Cretaceous Choyr Basin, southeastern Mongolia. *Cretaceous Research* 27. 226-240.

124. Nichols, D.J., Matsukawa, M. Ito, M., 2006. Palynology and age of some Cretaceous nonmarine deposits in Mongolia and China. *Cretaceous Research* 27 (2). 241-251.
125. Pyron J. Mesozoic basins of eastern N.America: Exploration target whose time has come, 1998. *Oil&Gas Journal*. 94-98.
126. Roberts David G., Bally A.W., 2012. *Phanerozoic Passive Margins, Cratonic Basins and Global Tectonic Maps*. Elsevier. 470 p.
127. Tomurtogoo, O., 1997. A new tectonic scheme of the Paleozooids in Mongolia. In: Zhaqin, X., Yufeng, R., Xiaoping, Q. (Eds.), *Proceedings of the 30th International Geological Congress, VSP*, 75-82.
128. Tomurtogoo, O., Badarch, G., Orolmaa, D., Byamba, J., 2000. Lithotectonic terranes and crustal evolution in Mongolia. In: Badarch, G., Jahn, B.-M. (Eds.). *IGCP-420, Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Abstracts and Excursion Guidebook, Hors serie, vol. 2. Geosciences, Rennes*, 71-76.
129. *Uranium 2016: Resources, Production and Demand // Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development NEA/IAEA, OECD. 2016. 550 p.*
130. Weeks R.A. Paramagnetic resonance of lattice defects in irradiated quartz // *J. Appl. Phys.* 1956. V. 27. № 11. 1376-1381
131. Zorin, Y.A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics* 306, 1999. 33–56.