

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 550.832

На правах рукописи

ТЕМИРХАНОВА РАУШАН ГАЛИМЖАНОВНА

**Совершенствование методики определения геолого – геотехнологических
параметров рудовмещающих пород по данным индукционного каротажа**

6D070600 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
докт. геол.-мин. наук, проф.
Нурмагамбетов А.

Доктор PhD
Шурилов А.В.

Республика Казахстан
Алматы, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 РОЛЬ И МЕСТО ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ, РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	10
1.1 История поиска и разведки урановых месторождений.....	10
1.2 Современное состояние урановорудных месторождений в Казахстане.....	15
2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ).....	22
2.1 Краткий геологический очерк исследуемого месторождения Инкай...	22
2.2 Стратиграфия мезозойско-кайнозойских отложений.....	22
2.3 Тектоника.....	29
2.4 Морфологические особенности рудных залежей.....	31
2.5 История геологического развития района в мезозое-кайнозое.....	32
2.6 Литолого-фациальная и геохимическая характеристика продуктивных горизонтов.....	34
2.7 Вещественный состав руд и вмещающих пород.....	36
2.8 Урановая минерализация, характер её распределения и структурно текстурные особенности.....	38
2.9 Генезис урановых руд.....	39
3 ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПОСОБА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА.....	42
3.1 Процесс подземного скважинного выщелачивания.....	42
3.2 Комплексирование ГИС при отработке месторождении урана методом ПСВ.....	48
3.2.1 Определение содержания урана.....	49
3.2.2 Оценка радиоактивного равновесия в урановых рудах.....	52
3.2.3 Оценка литологических и фильтрационных свойств рудовмещающей среды по данным электрокаротажа.....	59
3.3 Методы ГИС применяемые для изучения технического состояния скважин.....	69
4 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУД И ПОРОД РУДОВМЕЩАЮЩЕГО ГОРИЗОНТА.....	72
4.1 Теоретические предпосылки использования метода индукционного каротажа при отработке урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа.....	72
4.1.1 Основы теории метода индукционного каротажа.....	72

4.1.2	Аппаратурный комплекс.....	77
4.1.3	Задачи, решаемые при проведении индукционного каротажа скважин на технологических полигонах.....	79
4.2	Обоснование необходимости использования данных индукционного каротажа до и после закисления блока.....	81
4.3	Примеры расчета геотехнологических параметров на основе данных индукционного каротажа.....	83
4.4	Результаты исследований по данным мониторинга работающего технологического блока.....	92
5	ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕБЛОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОРУДЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ МЕТОДОМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ.....	98
5.1	Расчет среднеблочных параметров оруденения и подсчет запасов на примере технологического блока месторождения Инкай.....	98
5.2	Расчет среднеблочных параметров оруденения для двухъярусных технологических блоков.....	103
5.3	Предложение по внесению изменений в стандартный расчет геолого-геотехнологических параметров используемый на сегодняшний день.....	106
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	110

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:
Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. № 407-IVЗРК;

ГОСО РК 5.04.034-2011: Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан. Послевузовское образование. Докторантура. Основные положения (изменения от 23 августа 2012 г. № 1080);

Правила присуждения ученых степеней от 31 марта 2011 года № 127; межгосударственные стандарты: ГОСТ 7.32-2001 (изменения от 2006 г.).

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 22609-77 Геофизические исследования в скважинах. Термины, определения и буквенные обозначения.

СТ НАК 15.1-2014 Автоматизированная система управления добычей металла «Рудник». Термины и определения

СТ НАК 15.2-2014 Автоматизированная система управления добычей металла «Рудник». Обработка, интерпретация геолого-геофизических данных.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Подземное скважинное выщелачивание	ПСВ
Геофизические исследования в скважинах	ГИС
Гамма-каротаж	ГК
Каротаж сопротивления	КС
Каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации	ПС
Нейтронный каротаж по мгновенным нейтронам деления	КНД-м
Индукционный каротаж	ИК
Токовый каротаж	ТК
Коэффициент радиоактивного равновесия	K_{pp}
Коэффициент фильтрации	K_{ϕ}
Удельное сопротивление пласта	$\rho_{пл}$
Горнорудная масса	ГРМ
Эффективная мощность пласта	$M_{\text{эфф}}$
Отношение жидкого к твердому	Ж:Т
Программа обработки геолого-геофизических данных	ГИК

ВВЕДЕНИЕ

Постановка вопроса и актуальность темы. С ростом спроса на уран, как на вид сырья для гражданской ядерной промышленности, горнодобывающая промышленность по урану во всем мире растет и расширяется. На сегодняшний день в Казахстане запасы урана составляют около 1,7 млн. тонн. Около 80% из них сосредоточено в месторождениях пластово-инфильтрационного типа, в водонасыщенных проницаемых породах [1].

Данный тип урановых месторождений разрабатывается наиболее экологически предпочтительным методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Этот метод обеспечивает низкий уровень себестоимости добычи и приносит минимальный ущерб окружающей среде.

Подземное скважинное выщелачивание является способом отработки рудных месторождений пластово-инфильтрационного типа без поднятия руды на поверхность путем избирательного перевода ионов природного урана в продуктивный раствор непосредственно в недрах. При этом урансодержащая руда остается под землей в отличие от традиционных методов добычи (шахтный и карьерный).

Основной проблемой, возникающей при реализации метода ПСВ, является то, что в настоящее время, не удается получить достаточно достоверную информацию о строении рудного тела для того, чтобы регулировать технологический процесс с целью максимального извлечения полезного компонента и снижения себестоимости добычи.

Опыт геолого-геофизических работ на урановых месторождениях свидетельствует о том, что применяемый комплекс геофизических методов не в полной мере обеспечивает решение некоторых задач при определении геолого-геотехнологических параметров технологических блоков. К примеру, при подсчете запасов возникают трудности при расчете горнорудной массы (ГРМ) и определении эффективной мощности блока ($M_{эфф}$). В настоящее время, на практике применяются различные методы определения эффективной мощности, анализ которых приведен в данной работе. Но, к сожалению, указанные методы определения $M_{эфф}$ или же, иными словами, «степени закисления» не всегда дают затребованный результат. Для правильной оценки величины $M_{эфф}$ целесообразно периодически проводить индукционный каротаж по наблюдательным, контрольным и технологическим скважинам после закисления блока. Интерпретация диаграмм индукционного каротажа, полученных после закисления блока, позволят получить качественно новую информацию о проникновении выщелачивающих растворов в рудовмещающем пласте, их распределении в межскважинном пространстве. На этой основе возможно определение геолого-геотехнологических параметров технологического блока и оценка эффективности отработки.

Целью исследования является повышение геологической эффективности геофизических работ на урановых месторождениях инфильтрационного типа путем совершенствования методики расчета геолого-

геотехнологических параметров рудовмещающих пород к подсчету запасов урана по данным ГИС (на основе данных индукционного каротажа).

Основные задачи исследований

1. Геофизический мониторинг на двух действующих рудниках месторождений урана Казахстана и анализ полученных данных.

2. Определение эффективной мощности исследуемого технологического блока на основе данных индукционного каротажа.

3. Расчет геотехнологических параметров на основе данных ГИС и анализ результатов применительно к технологическим условиям ПСВ.

4. Определение погрешностей, имеющих место при расчетах стволовых и блочных запасов.

5. Разработка методики устранения или понижения вероятности погрешности в подсчетах.

Научная новизна работы

1. Апробирована и предложена методика определения эффективной мощности рудовмещающего блока по данным индукционного каротажа. Полученные экспериментальным путем результаты на двух урановорудных месторождениях Казахстана, подтверждают эффективность предложенной методики.

2. Предложена методика определения объема горнорудной массы с использованием данных индукционного каротажа, которая позволяет повысить эффективность решения геологических задач с использованием оптимизированной технологии геофизического исследования урановорудных скважин.

3. На основе сравнительного анализа эффективности методики подсчета запасов по конкретному рудовмещающему блоку месторождения Инкай предложены пути повышения достоверности определения среднечлочных параметров оруденения.

Основные защищаемые положения

1. Проведение повторного индукционного каротажа при отработке урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа способом подземного скважинного выщелачивания, позволит рассчитать геотехнологические параметры рудовмещающих пород.

2. На основе комплексной интерпретации результатов индукционного каротажа можно оценить изменчивость фильтрационных свойств и степень закисления исследуемых технологических блоков.

3. Оценка эффективной мощности рудовмещающего блока и горнорудную массу, позволит повысить эффективность отработки с учетом геолого-геофизических особенностей вмещающих пород.

Практическая значимость и реализация работы

Представленные в диссертации технологические и методические решения разработаны лично автором или с его определяющим участием, и реализованы им самим, или с его непосредственным участием. При этом все основные

результаты, обладающие научной новизной и практической ценностью, были получены лично автором.

Производственное опробование данных разработок и внедрение рекомендаций осуществлено коллективами полевых геофизических отрядов, работающих в уранодобывающих организациях Казахстана, при участии автора в проектировании работ и их сопровождении, а обработка и интерпретация данных ГИС выполнялись при его непосредственном участии. Результаты исследований внедрены в практику работы на урановых месторождениях Инкай, Харасани используются при подсчете запасов технологических блоков.

Достоверность и обоснованность научных положений подтверждается изучением геолого-геофизического материала, характеризующего руды месторождения урана пластово-инфильтрационного типа; выполненным объемом исследований физико-химических процессов добычи урана методом ПСВ; сходимостью геолого-геофизических данных с фактическими геотехнологическими данными; положительными результатами внедрения комплекса выполненных исследований в практику освоения месторождений Инкай и Харасан.

Разработки автора апробированы в производственном режиме на двух объектах, месторождениях Инкай и Харасан, на которых получен положительный эффект, заключающийся в повышении точности и достоверности геолого-геотехнологических данных, что обеспечило надёжность определения подсчётных параметров при подсчете запасов урана.

Личный вклад автора состоит в сборе, обобщении и критическом анализе геолого-геофизических данных, проверке адекватности применяемой методики подсчета запасов урана при разработке месторождения методом ПСВ, расчете геотехнологических параметров действующих урановых рудников, решении задач применения геофизических данных при расчете геотехнологических параметров технологического блока при разработке отечественных гидрогенных месторождений урана с целью повышения эффективности ПСВ и снижения себестоимости урана.

Практическая ценность работы заключается в участии во внедрении новой системы подсчета запасов в производство, в тестировании новой программы и внесении изменений и дополнений в условиях неравномерного распределения оруденения и сложных геолого-гидродинамических и геотехнологических параметрах.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития геологического кластера «Образование-наука-производство (Казахстан, 2014); International Multidisciplinary Scientific Conferences SGEM» (Болгария, 2014), International Scientific and Practical Conference Topical researches of the world science (ОАЭ, 2015).

Публикации по теме диссертации: опубликованы 11 научных трудов, в том числе 1 статья с импакт-фактором в базе Scopus - International Journal of

Earth Sciences & Engineering, India, 2015, 4 статьи, рекомендованные Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОиН РК (журнал «Промышленность Казахстана», Алматы, 2015; Вестник СПбГУ, РФ, 2014; Вестник, КазНТУ, РК, 2015) так же в журналах «Геология и охрана недр», Алматы, 2013 и «Austrian Journal of Technical and Natural Science», Австрия, 2014.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 92 наименований, содержит 115 страниц текста компьютерного набора, в том числе 31 рисунков, 17 таблиц.

1 РОЛЬ И МЕСТО ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПОИСКЕ, РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1 История поисков и разведки урановых месторождений

В истории поисков и разведки урановых месторождений в Казахстане выделяются три основных этапа:

Первый период, охватывающий 40-50-е гг. начался с радиометрического обследования и ревизии, главным образом, месторождений других полезных ископаемых. Вскоре были широко развернуты сначала наземные, а затем и аэrorадиометрические поиски, которые проводились в основном на площадях распространения домезозойских геологических формаций и в прибортовых частях мезозойско-кайнозойской депрессионных структур. Первым промышленным урановым объектом стало Курдайское месторождение, выявленное в 1951 году при пешеходных поисках в Южном Казахстане в горах Кендыктас. Оно было оперативно разведано и уже в 1953 г. передано в эксплуатацию [2].

Таким образом, уже на первом этапе специализированных поисков на территории Казахстана были выявлены два урановорудных района – Прибалхашский и Северо-Казахстанская урановорудная провинция. Все они были вовлечены в промышленное освоение. В целом, работы первого этапа ориентировались главным образом на выявление месторождений, локализованных в домезозойских геологических формациях, имеющих выходы на дневную поверхность.

Во втором этапе, охватывающий 60-е гг., в Южном и Юго-Восточном Казахстане Волковской экспедицией проведены поиски бурением месторождений, связанных с зонами пластового окисления. Они охватили прибортовые части Сырдарьинской и Чу-Сарысуинской депрессий, Северо-Западное Приаралье, северный и южный борт Илийской долины. Подобные поисковые работы выполнены и в восточной прибортовой части Тургайского прогиба [2,с.15].

В эоценовых отложениях восточного борта Сырдарьинской впадины партией №27 Волковской экспедиции были выделены и откартированы перспективные водоносные горизонты, в связи с которыми установлены и прослежены на расстояние до 100 км зоны пластового окисления (ЗПО), выявлены месторождение Кызылколь и ряд рудопроявлений. В районе северо-западной оконечности хр. Большой Каратау также были установлены ЗПО и связанное с ним рудопроявление Даут. К основным итогам поисковых работ, проведенных в этот период в Чу-Сарысуинской депрессии, следует отнести установление широкого развития ЗПО в разновозрастных отложениях мезозойско-кайнозойского чехла, открытие связанного с ним месторождения Уванас и ряда перспективных рудопроявлений, в том числе Жалпакского.

Месторождение Уванас и другие пластово-инфильтрационные рудные объекты, которые сейчас отрабатываются, во второй период были отнесены к непромышленным (применительно к горному способу обработки) из-за низкого

содержания металла и значительной обводнённости рудовмещающих горизонтов.

К середине 60-х гг. поиски месторождений ЗПО в Казахстане были приостановлены из-за резкого ужесточения требований промышленности, связанных с существующими трудностями при горной отработке рыхлых и обводненных песчаных руд.

Третий этап работ (с конца 60-х по 1990 г.) тесно связан с внедрением в практику нового прогрессивного метода отработки обводненных месторождений – подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) [2, с. 16].

Трудно переоценить поистине революционную роль, которую сыграло внедрение этого метода в создание минерально-сырьевой базы в Южном Казахстане. В частности, применение данного метода определило удивительное превращение неблагоприятных (для горного способа) особенностей эпигенетических месторождений, таких как обводненность и слабая литификация пород и руд, в их главные достоинства, позволяющие добывать уран и попутные компоненты без извлечения рудной масса и вмещающих пород на поверхность и тем самым существенно сократить негативное воздействие на природную среду. С внедрением метода ПСВ в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах Казахстана вновь были широко развёрнуты поисково-оценочные работы на уран, причем акцент был сделан на районы с уже определившейся рудоносностью – Чу-Сарысуйскую и Сырдарьинскую депрессии.

В результате проведенных работ Чу-Сарсуйская депрессия к концу 70-х гг. оформилась в качестве крупнейшей урановорудной провинции, представляющей собой долговременную минерально-сырьевую базу для добычи урана способом подземного выщелачивания. Сырдарьинская депрессия также оформилась в виде крупной урановорудной провинции.

Поисково-разведочные работы на уран в течение третьего этапа предприятие «Волковгеология» продолжало и в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах Юго-Восточного Казахстана [2, с. 17].

Закончилась разведка Кольжатского ураново-угольного месторождения, переведенного в крупный поликомпонентный объект, где наряду с энергетическими бурыми углями промышленное значение могут иметь значительные запасы урана, молибдена и ряда других попутных элементов, сосредоточенные в «технологических» углях и пластах песчаников.

Таким образом, в третий этап геологоразведочных работ на уран в Казахстане оформились две новые крупные экзогенные урановорудные провинции с пластово-инфильтрационным типом оруденения (Чу-Сарысуйская и Сырдарьинская) и одна провинция, в которой ведущим типом являются ураново-угольные месторождения (Илийская провинция). Важнейшим промышленным типом стали пластово-инфильтрационные месторождения, эксплуатируемые способом подземного выщелачивания.

В историческом процессе становления и развития урановой геологии геофизические методы исследований всегда были одним из важнейших звеньев

всех стадий геологоразведочного изучения земных недр. Особенно весомый вклад внесли радиометрические методы, широко и эффективно применявшиеся на разных этапах поисковых и разведочных работ. Открытие подавляющего большинства месторождений урана начиналось с обнаружения аномальной радиоактивности геологических образований на поверхности, в горной выработке, буровой скважине. Дальнейшее прослеживание, оконтуривание и количественная оценка оруденения практически всегда проходили с помощью различных геофизических методов [3].

В целях выявления и прослеживания структур потенциально-рудноносных палеодолин в фундаменте осадочных толщ применялись геофизические исследования электрическими и сейсмическими методами. В зависимости от конкретных условий (глубина залегания фундамента, характер геоэлектрического разреза, глубина вреза палеодолин) более эффективными оказываются электромагнитные и вибросейсмические методы.

В 1958 году первым объектом, на котором был выполнен комплекс геофизических работ, явилось Нижне-Чуйское поднятие. Комплекс включал в себя сейсморазведочные работы КМПВ. Работы в первые годы носили в основном рекогносцировочный характер и были направлены на общую оценку исследуемой территории с точки зрения перспектив её нефтегазоносности. Сейсморазведочные работы МОВ, КМПВ, МОГТ проводились в различных масштабах на отдельных площадях и по профилям с целью поисков локальных структур, перспективных на нефть и газ в средне - палеозойском структурном этаже. В конечном счете, по результатам сейсморазведочных работ для всей изученной территории и отдельных площадей построены сводные карты изогипс, изопакит по всем опорным отражающим горизонтам, а также многочисленные геолого-геофизические, сейсмогеологические разрезы промежуточного структурного этажа [3, с. 80].

В начале 60-х годов на всей площади исследуемой территории была выполнена аэромагнитная съемка в масштабах 1:500000-1:100000. Это оказалось важной частью регионального этапа изучения региона.

По данным гамма-спектрометрии и магнитометрии по каждой заснятой площади были построены карты аномальных значений магнитного поля, карты распределения радиоактивных элементов (U, Th, K-40), карта суммарной (общей) радиоактивности. Результаты аэрогамма - спектрометрической съемки в комплексе с другими видами геофизических работ (гравиразведка, сейсморазведка) позволили получить весьма важные сведения, касающиеся структурно-тектонических особенностей строения исследуемой территории.

Электроразведочные работы выполнялись главным образом в модификациях ДЭЗ и ВЭЗ с целью изучения геологического строения региона и в основном при поисках антиклинальных структур в низах отложений нижнего карбона [4].

Поиски инфильтрационных месторождений урана пластового и грунтового типов представляют собой сложную задачу, поскольку объекты поисков, как правило, перекрыты достаточно мощным чехлом субгоризонтально

залегающих образований и радиометрическими аномалиями на поверхности не проявляются. В практике работ советских геологов есть лишь два примера, когда урановые месторождения инфильтрационного типа были зафиксированы аэрометрической съемкой (месторождение Учкудук в Узбекистане и Харат в Монголии). Подавляющее большинство месторождений и даже целые районы ПриТянь-Шаньской провинции (Шу-Сарысуйской, Сырдарьинской) в поверхностных радиометрических полях не проявлены, и основными методами их открытия было поисковое бурение [5].

С 80-х годов на урановых месторождениях Казахстана начались поисково-оценочные работы. Работы проводилась с целью оценки масштабов и промышленных перспектив месторождений урана. А именно для изучения гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей месторождений, для прослеживания рудоконтролирующих зон, для составления отчета с подсчетом запасов [6].

При разведке водородных месторождений, для разработки методом ПСВ, буровые скважины являются единственным источником получения геологической информации. Поскольку разрез изучаемых пород, как правило, бывает представлен рыхлыми или слабоцементированными породами, одной из важнейших проблем является получение полноценной информации по скважинам в условиях, когда выход керна низкий. Потери информации, обусловленные недостаточным выходом керна, могут быть восполнены проведением комплекса геофизических исследований в скважинах.

В этот период геофизические методы исследования играли немаловажную роль. Основу геофизических работ составил комплекс геофизических исследований скважин, включающий различные методы и модификации каротажей. Оптимальное соотношение геофизических методов и модификаций в общем комплексе каротажа скважин определялось из геологических задач. При проведении геофизических работ в скважинах решались следующие основные задачи:

1. Выявление радиоактивных аномалий в скважинах.
2. Определение глубин залегания, границ и мощности рудных интервалов и содержания в них урана для подсчета запасов.
3. Литолого-стратиграфическое расчленение разреза скважин.
4. Выделение в разрезе рудовмещающего горизонта проницаемых и непроницаемых пород с разбивкой проницаемых пород по литолого-фильтрационным типам, а также определение послойных значений коэффициента фильтрации в разрезе скважин.

При обработке пластово-инфильтрационных месторождений урана геофизическим методам исследования скважин отводится особое место и роль. Связано это, прежде всего, с тем, что подавляющее большинство скважин в этом случае проходятся без отбора керна. Поэтому ГИС является практически единственной информационной поддержкой всех разноплановых видов работ, выполняемых при обработке таких месторождений.

Традиционно сложившийся комплекс геофизических исследований,

выполняемых в скважинах на месторождениях пластово-инфильтрационного типа включает в себя следующие виды исследований: гамма-каротаж для определения содержания урана в рудном пересечении; электрокаротаж (КС, ПС, ИК) для литологического расчленения геологического разреза скважин, определения фильтрационных свойств вмещающих горных пород и для определения степени «закисления»; инклинометрия, для определения пространственного расположения ствола скважины; кавернометрия для определения истинного диаметра ствола скважины. Указанный комплекс методов ГИС сформирован в течение длительного времени, и характеризуется большой информативностью о геофизических и геологических параметрах рудного тела и вмещающих пород.

В ходе отработки урановых месторождений способом сернокислотного подземного выщелачивания возникает необходимость применения более информативных геофизических методов с целью осуществления мониторинга процессов, происходящих во вмещающей среде и собственно в рудном теле под воздействием кислоты.

В закисленном рудном теле сложно определить параметры уранового оруденения, а значит и степень его отработки, так как в процессе выщелачивания в продуктивные растворы переходит только уран. Радий же остается на месте залегания. Уран является, более подвижным химическим элементом в окислительной среде, чем радий. Между тем в процессе ПСВ для решения различных технологических вопросов периодически возникает потребность в оценке остаточных содержаний урана в выщелачиваемых пластах. Прежде всего, это необходимо для контроля за динамикой выщелачивания и оперативного управления этим процессом.

Еще одной важной задачей, помимо мониторинга отработки уранового рудного тела, является пространственный контроль за растеканием выщелачивающих растворов как в разрезе по стволу технологических скважин, так и в плане полигонов ПСВ. Определение объема прорабатываемых вмещающих пород необходимо для оценки норм расхода кислоты на единицу горнорудной массы и при разработке эффективных мер по очистке от продуктов ПСВ загрязненных участков подземных вод и вмещающих пород [7].

Для обеспечения охраны подземных вод в районе расположения геотехнологического предприятия по добыче полезных ископаемых методом ПСВ, также необходимо уметь контролировать и прогнозировать распространение загрязняющих веществ в подземном водоносном горизонте, как во время, так и после завершения разработки месторождения. Распространение загрязняющих веществ в подземных водах определяется большим количеством взаимосвязанных физико-химических процессов и зависит от гидрогеологического строения подземного водоносного горизонта [8]. Поэтому, для контроля и прогнозирования ореола загрязнения, так же целесообразно использовать геофизические методы исследования скважин.

Эти обстоятельства являются определяющими при оценке места и роли использования геофизических методов, как при разведке гидрогенных

месторождений урана, так и при их отработке способом подземного кислотного выщелачивания.

1.2 Современное состояние урановорудных месторождений в Казахстане

Как было сказано выше, запасы и ресурсы урана в Казахстане в настоящее время составляют около 1,7 млн. тонн, или около 12% от общего объема мировых запасов и ресурсов урана (по данным МАГАТЭ).

Запасы и ресурсы от общих запасов и ресурсов Казахстана (рисунок 1.1):



Рисунок 1.1 - Запасы и ресурсы от общих запасов и ресурсов Казахстана

В настоящее время на территории Республики Казахстан выделяются шесть урановорудных провинций [2,с. 71] (рисунок 1.2). Важнейшими из них, для промышленного освоения, являются Шу-Сарысуйская и Сырдарьинская урановорудные провинции, заключающие в себе более 76% разведанных в Казахстане запасов урана. Кроме того, выделяются: Илийская (преимущественно ураново-угольная); Прикаспийская (органогенно-фосфатный тип); Северо-Казахстанская (месторождения эндогенной группы).

Илийская экзогенная урановорудная провинция оформилась в качестве таковой в 70-е годы в результате работ, проведенных предприятием "Волковгеология". Она охватывает территорию Южно-Балхашской и Илийской

впадин общей площадью около 65 тыс.км². Часть провинции (около 10 тыс.км²) располагается на территории КНР.

Илийская провинция характеризуется крайне неравномерной рудоносностью. Урановые месторождения сосредоточены в трех, значительно разобщенных между собой рудных районах: Нижнеилийском, Среднеилийском (Сулучекинском) и Восточно-Илийском (Жаркентском). Ведущим типом месторождений является грунтово-пластово-инфильтрационный уранугольный, связанный с ниже-среднеюрским угленосным терригенным комплексом, что обусловлено особенностями геологического строения и развития Илийской провинции [2].

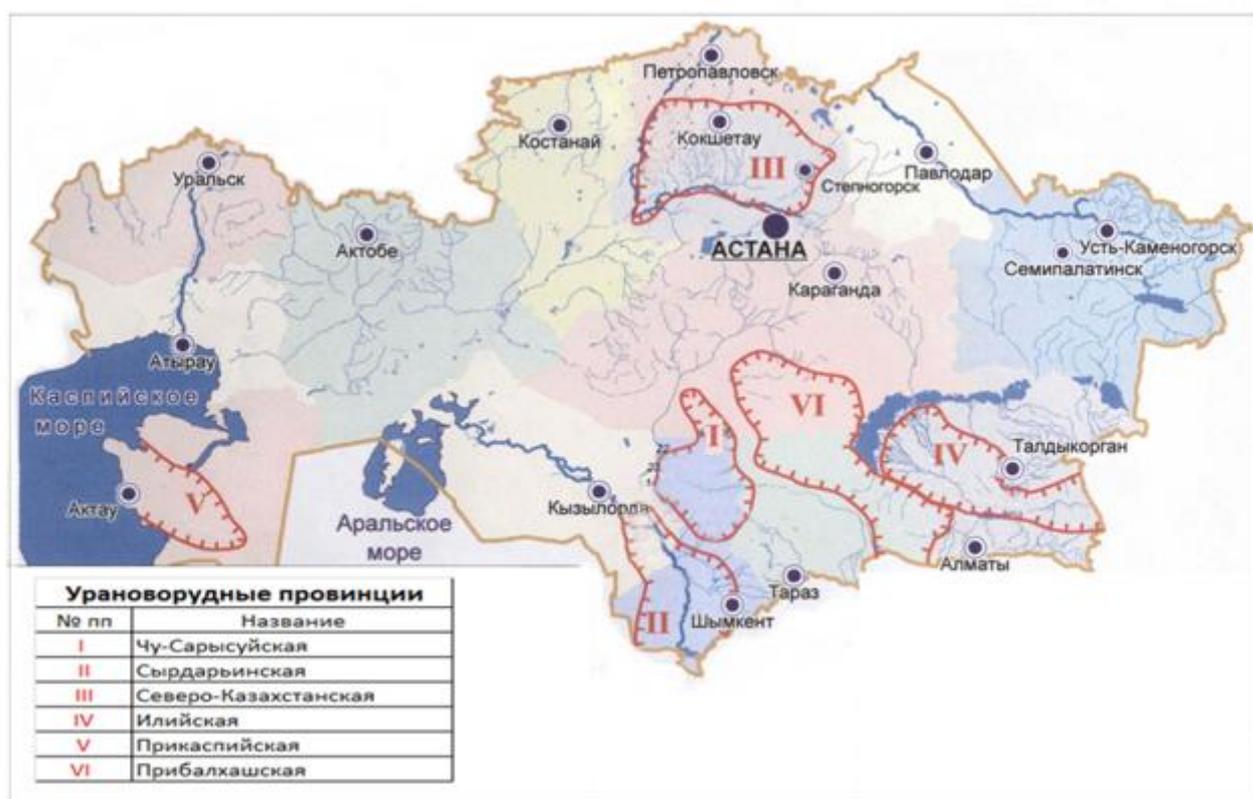


Рисунок 1.2 - Урановорудные провинции Казахстана

Рудоносность *Нижнеилийского рудного района* определяется одноименным месторождением, содержащим крупные запасы урана, молибдена и других ценных компонентов в так называемых "технологических углях". Ресурсы "энергетических" бурых углей в Нижнеилийском бассейне оцениваются в более чем 12 млрд. тонн.

Урановорудные объекты *Среднеилийского района* представлены месторождениями пластово-инфильтрационного типа – крупным Сулучекинским и мелкими Калканским, (участки Восточный, Северный, Кокбастау), Актау, Малайсары, приуроченными к верхнесенонско-палеоценовому "древнеилийскому" горизонту. Его отложения подверглись региональному экзодиагенетическому окислению. Неокисленные реликты

сероцветов сохранились лишь в отдельных тектонических понижениях, главным образом, в северном борту впадины. К ним и приурочены эпигенетические урановорудные скопления.

Отработка месторождений производилась лишь в китайской части Илийской провинции. Эксплуатация горным способом ураноугольных месторождений (Талды, Мынчукур) прекращена в конце 60-х годов. В настоящее время способом ПСВ осуществляется добыча урана на месторождении Кучертан.

В недавнем прошлом открытым горным способом производилась промышленная отработка комплексных скандий-редкоземельно-фосфор-урановых месторождений Мангистауского урановорудного района, представляющего собой часть **Прикаспийской урановорудной провинции**. Другая часть провинции располагается на территории Российской Федерации (Калмыкия). Комплексное оруденение этих месторождений связано со скоплениями рыбного костного детрита в горизонтах темных морских глин олигоцена. На территории Казахстана за пределами Мангистауского района горизонты таких глин залегают на недоступных для рентабельной промышленной отработки глубинах, и достоверно оконтурить их по этой причине не представляется возможным. Поэтому контуры и площадные размеры Прикаспийской провинции остаются не выясненными.

Ведущим типом месторождений в этой провинции являются урановые месторождения в палеодолинах позднеюрско-раннемеловых и более молодого возраста. В пределах этой провинции, размещается крупное месторождение Семизбай и несколько более мелких месторождений и рудопроявлений.

В верхнем течении р.Сарысу выделяется *Северо-Сарысуйский ураноносный район*, объединяющий мелкое месторождение Курай и группу рудопроявлений с урановым оруденением, локализованным в отложениях палеодолин спорного возраста (наиболее вероятен позднесенонский-палеоценовый).

Ещё более молодое урановое оруденение локализовано в лигнитоносных отложениях палеодолин *Жиланшикского ураноносного района*, который размещается в восточном борту Торгайского прогиба.

Близкого типа оруденение, но связанное с озерными существенно глинистыми отложениями, тонкопереслаивающимися с песчаными, широко проявлено в Илийской свите среднего позднего плиоцена в *Аксу-Лепсинском районе* Южного Прибалхашья, где оно развито в форме маломощных линз в зонах перехода окисленных лимонитизированных песков в неокисленные сероцветные известковистые глины.

Локальные экзодиагенетические рудопроявления и проявления минерализации урана, отдельные и группами, широкого возрастного диапазона (вплоть до ураноносных четвертичных торфяников) распространены и в других районах Казахстана.

В качестве **Северо-Казахстанской урановорудной провинции** ураноносная территория на севере Казахстана оформилась в конце пятидесятых

– шестидесятих годах, когда было выявлено большинство гидротермальных урановых месторождений. Площадь провинции составляет около 120 тыс. кв. км. Её геологические границы в значительной мере условны. Они определяются, главным образом глубинными разломами II порядка. На западе – это меридиональная зона разломов в восточном борту Торгайского прогиба, на северо-западе – Ишимский разлом северо-восточного простирания, на северо-северо-востоке – Петропавловская зона глубинных разломов, скрытая под покровом мезозой-кайнозойских платформенных отложений.

Южной границей служит борт верхнепалеозойской Тенизской впадины, а восточной – система меридиональных разломов, ограничивающих Селетинский прогиб.

Структурным "ядром" провинции являются Кокшетауское (в центре), Заградовско-Шатское и Дмитровское (на северной и северо-западной периферии) поднятия, сложенные преимущественно метаморфическими образованиями протерозоя и гранитоидами палеозойского возраста и образующие выступы древнего микроконтинента. Они состоят из крупных блоков, разделенных палеорифтовыми прогибами.

Помимо установленных урановорудных металлогенических зон в Северо-Казахстанской провинции в различных геологических обстановках выделялась целая группа потенциально урановорудных зон. В связи с резким повышением требований к месторождениям, обрабатываемым горным способом, произведена была переоценка перспектив промышленной рудоносности выявленных потенциально урановорудных зон: основная их часть отнесена к малоперспективным для выявления гидротермальных объектов, параметры которых удовлетворяли бы современным требованиям промышленности.

Илийская урановорудная провинция близка к контурам "Чу-Илийского рудного пояса", выделяемого рядом авторов. Тектонически она представляет собой систему линейных блоков северо-западного простирания – Чуйско-Кендыктасского, Жельтауского и Бурунтауского, ограниченных палеорифтовыми зонами: Жалаир-Найманской, Сарытумской и Атасу-Илийской. На северо-западе провинция ограничена более поздней Успенской, а на юго-востоке Северо-Тяньшаньской зонами разломов. Площадь провинции составляет около 110 тыс. км².

В отличие от Северо-Казахстанской в Илийской провинции выходы на поверхность древнего кристаллического фундамента (фрагменты микроконтинента) весьма локальны. На остальной территории они переработаны мощными вулканоплутоническими процессами, протекавшими в девонское время.

Основные промышленно значимые концентрации урана здесь сформировались в самом конце девона (и, возможно, в самом начале карбона) после завершения активных вулканических процессов. При этом в главной, Мунглинско-Прибалхашской ветви девонского вулканического пояса, сложенной обширными полями кислых вулканитов, установлены лишь многочисленные урановые рудопроявления и радиоактивные аномалии, но

промышленных объектов не выявлено. Они сосредоточены к юго-западной ветви пояса, где приурочены к локальным структурам (вулканариям), либо вулкано-купольным (месторождение Джидели), либо кальдерным (Кызылсайская группа, Ботабурум).

К потенциально урановородным относятся Мунглинско-Западно-Прибалхашская и Кеныктас-Чуйская ураноносные зоны. В первой, как уже отмечалось, известные урановые концентрации представлены рудопроявлениями и проявлениями минерализации, во второй установлены и небольшие молибден-урановые месторождения – отработанные Курдайское в Кендыктасском блоке и Каратал – в Чуйском.

Ряд ураноносных районов с эндогенным типом оруденения установлен за пределами описанных урановородных провинций. К ним относятся Атасуйский, Токрауский, Джунгарский, Кызыл-Адырский, Кокпекты-Тарбагатайский районы.

Сырдарьинская урановородная провинция оформилась главным образом в результате работ предприятия "Краснохолмскгеология" (в 70-е годы) и частично – "Волковгеологии" (в 60-е годы).

Она располагается в пределах одноименной депрессии, занимающей территорию между хр. Большой Каратау на северо-востоке, отрогами Каржантауского, Угамского, Пскемского, Чаткальского и Кураминского хребтов на юго-востоке, возвышенностями Цетральных Кызылкумов на западе, Аральским морем и Нижнесырдарьинским поднятием на северо-западе и севере. Урановородная провинция занимает юго-восточную часть депрессии площадью около 85 тыс.км². Суммарная мощность отложений мела, палеогена и неоген-антропогена достигает 2-3 км. Располагаясь, так же как и Чу-Сарысуйская впадина в пределах Туранской плиты, она представляет собой по отношению к Казахскому щиту следующую, более погруженную ступень.

Блоково-пликативные структуры Сырдарьинской впадины проявлены более контрастно, чем в Чу-Сарысуйской. Основные положительные структуры её центральной части – Карактауское, Жаусумкумское, Кумкалинское, Дорткудук-Нурасинское и другие горстантиклинальные поднятия, отрицательные – Урмекумский, Жаугаш-Бердинский, Арысский, Байракумский прогибы. В юго-восточной части провинции выделяется заметно дислоцированная область с серией поднятий и прогибов, разделенных разрывами, которая включает крупное Чулинское поднятие.

Так же как и в Чу-Сарысуйской провинции, урановое оруденение многоярусное, локализующееся в целом ряде горизонтов и подгоризонтов, главным образом, верхнего мела. Однако соотношение рудоносности отдельных горизонтов в Сырдарьинской провинции иное, чем в Чу-Сарысуйской.

В частности, нижнетуронский (мынкудукский) горизонт, представленный морскими глинами, промышленного оруденения здесь не содержит, зато существенно вырастает роль отложений кампана-маастрихта, контролирующего урановое оруденение на нескольких стратоуровнях. Рудоконтролирующее

значение и продуктивность верхнетуронско-кооньякских отложений, вмещающих урановое оруденение месторождения Ирколь, на южном продолжении фронтов ЗПО остались не исследованными из-за большой глубины залегания перспективного горизонта.

Вместе с тем система рудоконтролирующих фронтов ЗПО в горизонтах верхнего мела Сырдарьинской провинции, несомненно, является закономерным южным продолжением соответствующей системы в меловых горизонтах Чу-Сарысуйской. Она выделяется здесь как Карамурун-Карактауская металлогеническая зона, контролирующая месторождения Ирколь, Северный и Южный Карамурун, Северный и Южный Харасан, Заречное и Южное Заречное, Асарчик и Жоуткан. Большинство этих месторождений комплексные, селеноурановые, а месторождение Жоуткан ванадий-урановое.

Месторождения Кызылколь, Чайан и Лунное, связанные с иканским и уюкским горизонтами эоцена (уванас-канжуганский горизонт здесь не проявлен), образуют Кызылколь-Чаянское рудное поле, приуроченное к фрагменту фронтов ЗПО, которые относятся к Кызылколь-Пришимкентской металлогенической урановорудной зоне – южному продолжению Уванас-Канжуганской зоны Чу-Сарысуйской рудной провинции.

В настоящее время в промышленной отработке способом ПСВ находятся месторождения Карамурунского рудного района – Северный и Южный Карамурун, Ирколь, Харасан и месторождение Заречное.

Чу-Сарысуйская провинция оформившаяся в результате систематических поисковых работ, проведенных предприятием "Волковгеология" в 70-ые годы, занимает центральную часть одноименной депрессии, которая ограничивается с севера, северо-востока и востока поднятиями молодого Казахского щита, а на юго-востоке, юге и юго-западе горными сооружениями Тянь-Шаня и его северо-западных отрогов - хр.Каратау и Чу-Илийских гор. Общая площадь провинции около 95 тыс.км². Наиболее крупные мезозойские структуры в Чу-Сарысуйской провинции: Южно-Улытауское поднятие, Уванасский вал, Западно-Чуйское поднятие, Итмурунская ступень (положительные); Бюртускенский (Каракоинский) прогиб, Сузакский и Байкадамский прогибы – мульды (отрицательные). Между ними вырисовываются несколько нейтральных структур типа ступеней и склонов.

Система фронтов ЗПО, развитых в меловых горизонтах, объединяется в Кенце-Буденновскую металлогеническую урановорудную зону, включающую месторождения (с севера на юг): Жетыконур, Жалпак, Акдала, Мынкудук, Инкай, Буденновское и, в субпараллельной ветви, - Шолак-Эспе, Карлысай, Барханное. Для этой зоны характерно отчетливое наращивание продуктивности оруденения с севера на юг.

Рудоносные фронты ЗПО в отложениях палеогена образуют Уванас-Канжуганскую урановорудную зону, включающую месторождения (с севера): Уванас, Торткудук, Моинкум, Канжуган.

Большинство месторождений Чу-Сарысуйской урановорудной провинции монометалльные – урановые. Часть из них (Акдала, Жалпак, Торткудук, отдельные залежи других месторождений) – рениеносные. Месторождения Уванас, Канжуган, Мынкудук, Моинкум, Инкай, Акдала, Торткудук, Буденновское – вовлечены в эксплуатацию [2,с.75]

2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ)

2.1 Краткий геологический очерк исследуемого месторождения Инкай [9]

Район месторождения Инкай расположен в юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии, которая представляет собой крупную эпикаледонскую структурную впадину. В геологическом строении депрессии участвуют образования трех структурных этажей: нижнего-складчатого каледонского фундамента, среднего-промежуточного полуплатформенного и верхнего-мезозойско-кайнозойского платформенного чехла [9].

Представления о геологическом строении фундамента основаны на данных структурной геофизики, данных редких скважин нефтяного бурения и на материалах геологических съемок в горном обрамлении (хр. Большой Каратау). В районе месторождения фундамент залегает на глубине до 2 км.

Магматические образования на описываемой территории не установлены, они проявлены далеко за ее границами – в Мынкудукском районе, Итмурунском выступе, вдоль Жуан-Тюбинского разлома.

Состав и стратиграфия каледонид складчатого основания освещены в многочисленных публикациях и отчетах, поэтому в его детальной характеристике нет никакой необходимости.

Промежуточный структурный этаж (ПСЭ) представлен комплексом слабодислоцированных осадочных формаций. В его составе выделяются терригенно-галечная формация фамена, терригенно-карбонатная – раннего карбона, на которых с угловым несогласием налегает серия отложений джезказганской (С2-3) и жиделисайской (Р1) свит. В составе обеих свит доминируют красноцветные образования, граница между ними проводится условно по преобладанию в разрезе перми алевролитов и аргиллитов над песчаниками, гравелитами и конгломератами.

2.2 Стратиграфия мезозойско-кайнозойских отложений

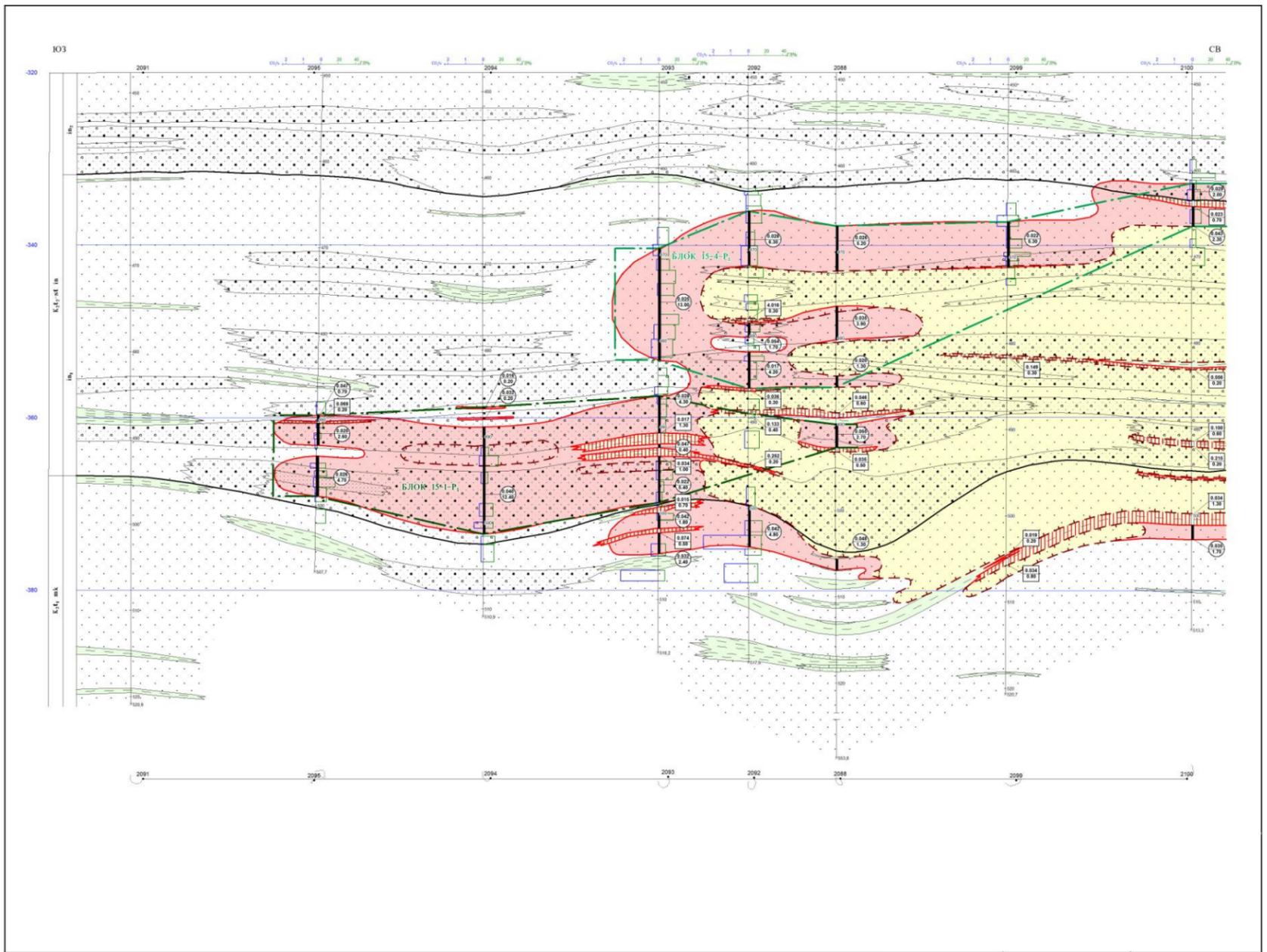
Сведения о стратиграфии этого комплекса пород основаны на обширном материале буровых скважин, пробуренных в последние десятилетия экспедициями № 5, № 7, № 27 ПГО "Волковгеология". Большая часть этих материалов составлена совместно с группой ВСЕГЕИ, проводившей в районе прогнозно-геологические работы [9, с. 55;10].

Мезозойско-кайнозойские отложения Шу-Сарысуйской депрессии разделяются на три комплекса: юрский – предплатформенный, мел-палеогеновый – платформенный и неоген-четвертичный – платформенно-суборогенный (рисунки 2.1, 2.2).

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОЛОНКА
мезозойско-кайнозойских отложений центральной части Чу-Сарысуйской депрессии

ГРУППА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ПОДОТДЕЛ	ПОДЪЯРУС	ЭРА (ВЕК)	СВИТА, ГОРИЗОНТ, ТОЛЩА	ПЛАЧКА, СЛОЙ, РИТМ	ИНДЕКС	МОЩНОСТЬ, В М	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	ФЛОРА, ФАУНА	К Р А Т К А Я Х А Р А К Т Е Р И С Т И К А П О Р О Д									
К А Й Н О З О Й С К А Я																					
П А Л Е О Г Е Н О В А Я																					
Н Е О Г Е Н О В А Я																					
П Л И О Ц Е Н																					
М И О Ц Е Н																					
О Л И Г О Ц Е Н																					
П А Л Е О Ц Е Н																					
Р А Н Н И Й																					
С Р Е Д Н И Й																					
П О З Д Н И Й																					
С Е Н О Н																					
М Е Л О В А Я																					
П О З Д Н И Й																					
Р А Н Н И Й																					
Ю Р С К А Я																					
Р А Н Н И Й - С Р Е Д Н И Й																					
П А Л Е О - З О Й С К А Я																					
												пески, супеси золовые; суглинки такырные; пески, суглинки гравий аллювиальные.									
												галечники, гравийники с прослоями палевых и бурых глин.									
												бурые и палевые глины с прослоями разнозернистых палевых и ржаво желтых песков, известняков, мергели.									
												глины розовато-палевые, бурые, пестрые известковистые запесоченные; пески полимиктовые разнозернистые; прослой, линзы, желваки известковистых песчаников; обнаружены кости позвоночных.									
												глины красно-бурые, кирпично-красные известковистые запесоченные прослой и линзы глинистых алевролитов и песков (обычно в основании); в породах выделен комплекс остракод.									
												глины темно-серые, до черных с горизонтальной слоистостью, с остатками рыб.									
												глины голубовато-зеленые, к бортам депрессии сменяются алевролитами и песками.									
												глины серо-зеленые и слоистые с остатками рыб и раковин пелеципод; на востоке - среднезернистые и мелкозернистые пески; в нижней части - прослой опоксидных глин; в основании нередко проявлен базальный слой паттумов с гравием кварца, коллофана, с остатками скелета и зубов акул.									
												пески серые, желтые; вверху и в основании крупнозернистые и среднезернистые, в средней части средне-мелкозернистые; прослой алевролитов, глин, известковистых песчаников; присутствуют углефицированные растительные остатки и сульфиды железа.									
												алевролиты, алевропесчаники, пески серые и зеленовато-серые, глины черные и серые.									
												пески серые, желтые, белесые с прослоями серых и черных глин, песчаников; переходят в серые и зелено-серые глины; углефицированные растительные остатки, пирит.									
												пески серые с вишнево-красным оттенком переходят в глины кирпично-красные с шоколадным оттенком, реже черные и пестрые; линзы песчаников.									
												глины, алевролиты, алевропесчаники зеленые, пестрые, черные (гумусированные) переходят в пески среднезернистые и крупнозернистые; остатки раковин пелеципод.									
												пески зеленовато-белесые, серые, желтые среднезернистые, реже крупнозернистые и мелкозернистые с прослоями зеленых, серых и пестрых глин, глинистых песков.									
												пески разнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые серые, желто-белесые с углефицированными древесными остатками; прослой темно-серых (до черных) глин.									
												пески разнозернистые и среднезернистые, прослой песчаников с карбонатным цементом; в верхней части глины и паттумы; преобладающие первичные окраски - красноцветная и пестроцветная, наложенные - зеленая, желтая, белесая.									
												пески серые, зеленовато-белесые, желтые полевошпат-кварцевые разнозернистые и среднезернистые с гравием и редкой галькой, с углефицированным растительным детритом.									
												прослой глин серого и темно-серого цвета, песчаников с карбонатным цементом.									
												пески разнозернистые, гравий, глины запесоченные с гравием; окраски пестрые, зеленые, розовые и желтые.									
												пески разнозернистые с примесью гравия и гальки; в верхней части - серые запесоченные глины; окраски пород пестрые.									
												преимущественно песчано-гравийные отложения; в основании гравийно-галечный слой; в верхней части - глинистые пески и запесоченные глины.									
												пески светло-серые, зеленовато-серые, желтые полевошпат-кварцевые среднезернистые и разнозернистые, прослой серых и зеленых глин (в средней и верхней части); песчаников с известковистым цементом.									
												пески среднезернистые и разнозернистые, в нижней части с примесью гравия и гальки, светло-серые, реже зеленовато-серые и розовые; прослой глин серых и пестроцветных.									
												глины пестроцветные запесоченные с галькой и гравием с прослоями песков.									
												пески, песчаники, алевролиты, черные углистые глины, конгломераты.									
												конгломераты, гравелиты, песчаники, мергели, алевролиты, аргиллиты с пластами бурых углей, реже пески и глины; окраска пород серая, темно-серая, черная, реже пестрая.									

Рисунок 2.2 -Стратиграфическая колонка мезо-кайнозойских отложений центральной части Чу-Сарысуйской депрессии [9]



Условные обозначения:

	среднезернистый песок		руда
	разнозернистый песок		зона пластового окисления
	глина		

Рисунок 2.3 – Литолого-фильтрационный разрез по профилю 20 месторождения Инкай [9]

Отложения юрского предплатформенного комплекса на территории участка не установлены, но известны в прибортовых частях депрессии, где заключены в грабенах среди пород ПСЭ и имеют единую с ними поверхность выравнивания, так что в структурном отношении они скорее относятся к ПСЭ. Отложения представлены сложным пролювиально-озерно-аллювиальным комплексом пород, угленосных в нижней части разреза. Общая мощность юрских отложений в Нижнесарысуйском грабене свыше 400 м.

Мел-палеогеновый платформенный комплекс представлен континентальными терригенными образованиями позднего мела и континентальными и морскими терригенными образованиями палеоцена и эоцена.

Позднемеловые отложения в районе несогласно залегают на глубоко размытой поверхности ПСЭ и представлены только континентальными образованиями.

В основании разреза, в понижениях поверхности среднепалеозойских пород, по данным бурения выделяются сохранившиеся от размыва реликты красноцветных плотных глин с включением гальки и гравия кварца и кремнистых пород, с прослоями разнозернистых глинистых песчаников. Их мощность обычно не превышает 15 м. По аналогии с подобными образованиями в Кызылкумах они условно отнесены к сенomanу (K_2cm).

В вышележащих позднемеловых отложениях выделяются три самостоятельных горизонта: мынкудукский (ранний турон), инкудукский (поздний турон-коньяк-сантон) и жалпакский (кампан-маастрихт до раннего палеоцена).

Каждый из названных горизонтов образует крупный ритмостратиграфический цикл, построенный по близкому плану: в нижней части преобладают грубозернистые песчаные и галечно-гравийно-песчаные преимущественно сероцветные отложения, в верхней части главное место занимают относительно мелкозернистые, нередко глинистые, первично красноцветные (как правило, вторично восстановленные) образования.

Возраст горизонтов определен, главным образом, на основании спорово-пыльцевых определений, с использованием геолого-стратиграфических корреляционных разрезов месторождения Мынкудук.

Мынкудукский горизонт (K_2t_1mk) выделен в 1973 году на одноименном месторождении. На территории района представлен пачкой сероцветных и пестроцветных аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений, накопленных в условиях туронской речной системы, ориентированной, в целом, с юго-востока на северо-запад.

В вертикальном разрезе горизонта хорошо проявлена закономерность смены литолого-фациальных обстановок снизу вверх:

- стрежнево-русловые, разнозернистые пески с гравием и галькой;
- пойменные отложения среднезернистых песков;
- средне-мелкозернистые пески с прослоями глин пойменно-старичных фаций.

Мощность мынкудукского горизонта на участке - от 55 м до 65 м, и он является одним из основных рудовмещающих горизонтов на месторождении.

Инкудукский горизонт ($K_2t_2-st in$) залегает на отложениях тулона с отчетливой границей размыва. Отличается грубозернистым составом и низкой степенью сортировки материала. В его разрезе выделяются три подгоризонта (цикла), которые начинаются гравийно-галечными отложениями и завершаются мелко-среднезернистыми песками с прослоями и линзами глин.

Средняя мощность нижнего подгоризонта от 30 м до 35 м, среднего от 55 м до 60 м, верхнего от 25 м до 35 м.

Отложения нижнего подгоризонта представлены серыми, зеленовато-серыми гравийно-галечниковыми разностями, закономерно переходящими выше по разрезу в более сортированные разно-среднезернистые пески.

В основании среднего подгоризонта также преобладают зеленовато-серые разнозернистые пески с гравием и галькой, переходящие в средне-мелкозернистые пески с прослоями глин.

Отложения верхнего подгоризонта имеют более однородный литологический состав, в основном это пески среднезернистые с незначительной долей разнозернистых – разнозернистых с гравием разностей (до 10 % от мощности). По отношению к двум нижним подгоризонтам в нем доминируют первичные сероцветные тона.

Породы инкудукского горизонта подвергнуты региональному "глеевому" восстановлению, благодаря чему среди его отложений отмечается резкое преобладание зеленоцветных проницаемых пород, в которых обнаруживаются реликтовые пестроцветные окраски, характерные для глинистых прослоев. Роль сероцветных пород в составе горизонта возрастает в юго-западном направлении. В этом же направлении увеличивается и общая мощность горизонта до 150 м в осевой части Сузакского прогиба.

Инкудукский горизонт является рудоносным на участке.

Жалпакский горизонт ($K_2km-P_1^1gp$) залегает на инкудукском с незначительным перерывом. Расчленяется на два подгоризонта нижний-сероцветный и верхний-пестроцветный. Граница между пестроцветной и сероцветной частями горизонта – геохимическая, соответствует уровню стояния грунтовых вод раннепалеоценового времени.

Отложения пестроцветной части горизонта представлены преимущественно песками средне-мелкозернистыми зеленовато-желтовато-буро-красных тонов и оттенков. Верхняя часть подгоризонта сложена красновато-бурыми глинами. Глины карбонатизированы и являются региональной границей разделения соленых вод мелового комплекса от пресных палеогеновых вод. Мощность "пестроцветного" подгоризонта - от 20 м до 60 м.

В сероцветной части горизонта развиты серые среднезернистые косослоистые полевошпат-кварцевые пески с примесью гальки и гравия. Нередко в них присутствует углефицированный детрит с дисульфидами железа.

Палеогеновые отложения представлены континентальными (палеоцен) и морскими (эоцен) образованиями.

В разрезе палеогена выделены четыре горизонта (снизу вверх): уванасский, уюкский, иканский и интымакский.

Уванасский горизонт (P_1^2uv) установлен на одноименном месторождении в 1970 году, где он является рудовмещающим. Распространен по всей площади Инкайского месторождения, на глубинах от 170 м до 300 м, а в Сузакском прогибе, на месторождении Буденновское, залегает на глубине около 450 м. В этом же направлении возрастает и его мощность – от первых метров до 80 м.

Уюкский горизонт ($P_1^2-P_2^1uk$) распространен повсеместно и представлен, главным образом, прерывисто-слоистыми серыми и зеленовато-серыми глинами. Прибрежно-морские песчано-глинистые образования сохранились лишь в южной части района. Мощность уюкского горизонта изменяется от первых до 60 метров.

Иканский горизонт (P_2^2ik) по составу отложений (серовато-зеленые глины, иногда опоковидные) почти не отличается от подстилающего уюкского, поэтому в разрезе разделить эти два горизонта часто не представляется возможным. В осевых частях Сузакского прогиба, где мощность иканского горизонта достигает 50 м, в его составе появляются мелкозернистые водоносные пески. Отложения уюкского и иканского горизонтов являются рудоносными на месторождениях Канжуган и Моинкум.

Интымакский горизонт ($P_2^{2-3}im$) представлен морскими глубоководными глинами зеленовато-серыми, голубовато-зелеными, прерывисто-слоистыми, реже массивными мощностью от 80 м до 150 м. Горизонт является региональным верхним водоупором для эоцен-поздне мелового водоносного комплекса.

В составе позднеолигоценово-четвертичного комплекса, залегающего на отложениях позднего эоцена с размывом и с угловым несогласием, выделяются три подкомплекса: суборогенный позднеолигоценово-ранне-миоценовый, собственно орогенный позднеплиоценово-четвертичный и платформенный четвертичный. Комплекс характеризуется сложным формационным составом и частыми перерывами в осадконакоплении, с которыми связано развитие рудоконтролирующих инфильтрационных процессов в мел-палеогеновых формациях.

Суборогенный подкомплекс представлен бетпакдалинской свитой и тогускенской толщей.

Среди отложений бетпакдалинской свиты ($P_3^3-N_1^1bt$) выделяются две пачки: нижняя – красноцветная и верхняя – пестроцветная. Нижняя пачка залегает с размывом на палеогеновых и меловых отложениях, сложена кирпично-красными и красно-бурыми карбонатными глинами, алевролитами, розовыми и бурыми песками. Верхняя пачка отличается от нижней неоднородным литологическим составом пород (глины, пески, гравий), пестрыми окрасками грязно-желтых, бурых и палевых тонов, плохой окатанностью и сортировкой материала. Общая мощность свиты в Сузакском

прогибе достигает 200 м, а к северу уменьшается до полного выклинивания отложений.

Тогускенская толща ($N_1^2 - N_2^1 tg$), с неглубоким размывом залегающая на нижележащих отложениях, представлена повсеместно желтыми, ржаво-бурыми разномерными кварцевыми песками с прослоями гравелитов, песчаников, глин. На плато Бетпак-Дала её мощность обычно не превышает 12 м. Толща сформирована в условиях речной системы с истоками в пределах Казахской складчатой области. Позднеплиоценовый-четвертичный собственно орогенный подкомплекс (N_2+Q) представлен галечно-гравийными отложениями, гравелитами и конгломератами предгорного шлейфа хр. Каратау. Их мощность - от первых метров до 40 м.

Платформенный четвертичный подкомплекс сложен всеми отделами. Его отложения образуют маломощный покров на плато Бетпак-Дала, выполняют долины рек Сарысу и Чу, сухих лугов, такырные и солончаковые котловины, слагают песчаные массивы Муюнкум, Самен-Кум и др. Среди них наибольшим распространением пользуются аллювиальные пески, супеси, суглинки, гравийники, эоловые пески, алевриты и глины. Мощность отложений - от долей метра до 20 м.

2.3 Тектоника

Современный структурный план депрессии и района месторождения Инкай сформировался на границе плиоцена и четвертичного времени в результате резкого вздымания обрамляющих горных сооружений. В связи с возникновением Каратауского горстантиклинория произошло отделение Шу-Сарысуйской депрессии от соседней Сырдарьинской, и в дальнейшем она развивалась как самостоятельная структура (рисунок 2.4).

Район месторождения Инкай приурочен к крупной структуре второго порядка – Сарысуйской впадине. С севера и востока последняя окаймляется Казахским щитом, на юго-западе ограничивается Каратауским горстантиклинорием, а на юго-востоке Уланбель-Галасской седловиной отделяется от Восточно-Моинкумского склона. Северная граница Сарысуйской впадины не имеет четкого выражения. Впадина характеризуется пологим региональным погружением отложений чехла в юго-западном направлении при среднем наклоне слоев около $15'$. В этой же ее части выделяется Сузакский прогиб, где общая мощность чехла достигает 800 м. Юго-западный борт прогиба, обращенный к Каратаускому антиклинорию значительно круче, чем северо-восточный: углы падения пород достигают здесь нескольких градусов, в зоне Главного Каратауского разлома – нескольких десятков градусов. Южная граница месторождения захватывает северо-восточный борт Сузакского прогиба и в северном направлении переходит на Бугуджильское поднятие, где отложения ПСЭ вскрываются на глубинах 410 м.

Площадь месторождения сопряжена с районом, где проявлены главнейшие разрывные нарушения глубинного заложения каледонского возраста. Это разломы северо-западного направления: Главный Каратауский, Аксумбинский,

Жуантубинский и их северо-восточные оперяющие ветви. В мезозойско-кайнозойском чехле унаследовано, проявлены только наиболее крупные разрывные нарушения складчатого фундамента и ПСЭ. В течение мела, палеогена, миоцена большинство из них развивалось конседиментационно, что подтверждается в изменении мощности отложений в разделяемых разломами блоково-пликативных структурах.

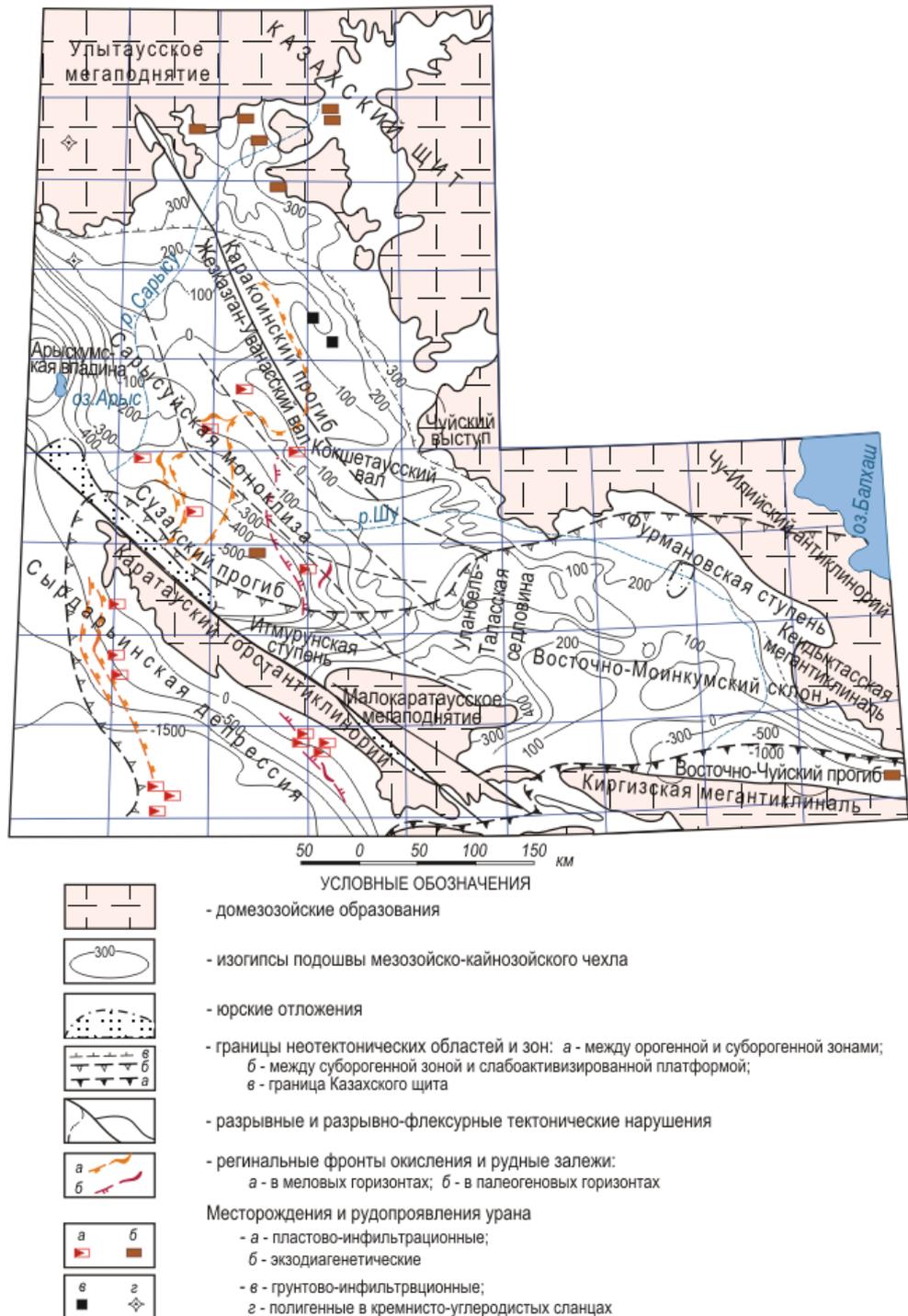


Рисунок 2.4 - Структура мезозойско-кайнозойского чехла Шу-Сарысуйской депрессии [9]

Чаще всего нарушения в чехле проявлены флексуорообразными перегибами слоев, затухающими вверх по разрезу. Особенно отчетливо перегибы выражены в основании мезозойско-кайнозойского чехла, в мынкудукском горизонте, где в зонах разломов не исключаются и разрывы слоев со смещением, незначительным по амплитуде. Выше по разрезу они выполаживаются. Над зонами разломов в породах нередко фиксируются зеркала скольжения, трещиноватость.

В целом рудовмещающие и их перекрывающие горизонты на месторождении залегают практически горизонтально.

2.4 Морфологические особенности рудных залежей

Рудные залежи на месторождении Инкай пространственно тяготеют к границе выклинивания ЗПО, а их контуры в плане и разрезе определены по данным гамма-каротажа - по заданному кондициям бортового содержанию урана - 0,01 % и минимальному бортовому метропроценту - 0,0400.

Каждая из выявленных залежей располагается в пределах одного рудовмещающего горизонта, причем в большинстве случаев соответствует одному гипсометрическому уровню, тем самым, характеризуя устойчивую приуроченность к коррелируемым по разрезам частям продуктивной толщи, и представляет собой определенный структурный элемент рудного поля.

Залежи состоят из нескольких морфологических элементов - главного ролла с хорошо выраженными мешковыми частями и крыльями, соразмерность которых меняется от равновеликих величин до преобладания той или иной морфологической части в 5-10 раз. Кроме того, широко развиты сопряженные мешково-крыльевые элементы рудного тела ("крылатые мешки"), мощность которых достигает 25 м. В процессе развития рудоконтролирующего окисления возникают сателлитные и останцовые тела. Они, как правило, располагаются в "тылу" основных роллов, отделяясь от них незначительным (десятки и сотни метров) интервалом безрудных пород.

В плане все рудные залежи имеют облик извилистых лент, различающихся между собой лишь протяженностью, шириной и пространственно взаимосвязаны с основными структурно-морфологическими типами выклинивания ЗПО в плане, где типизация последних основана на положении границы выклинивания ЗПО относительно направления движения региональных кислородсодержащих пластовых вод [9, с.52].

В поперечных разрезах морфологический облик залежей имеет многообразное сочетание элементов ролла, и в общих чертах представляет собой форму неправильных роллов, обычно асимметричных, деформированных и расслоенных или комбинацию нескольких сближенных роллов в сочетании с останцовыми и сателлитными телами. Конкретная совокупность морфоэлементов определяется литолого-структурным планом участка, его фациально-геохимическими особенностями, гидродинамическими характеристиками рудовмещающих горизонтов.

Продуктивный мынкудукский горизонт имеет типичное строение: разнозернистые и грубозернистые отложения в нижней части горизонта последовательно сменяются на относительно мелкозернистые пески в его средней и верхней частях. Кроме этого, в направлении с севера на юг в целом для мынкудукского горизонта происходит смещение кумулятивной кривой в сторону мелкозернистых песков.

Рудные тела в разрезе в большей степени тяготеют к нижней части горизонта в пределах глубин от 480 м до 515 м. Это, в свою очередь, определяет наличие для большей части залежи нижнего палеозойского водоупора.

Параметры руд меняются в широких пределах: содержание урана от 0,010 % до 0,490 %, мощность от первых метров до 25 м.

Преобладающие морфологические элементы залежи приходятся на лентообразные полосы северо-западного простирания шириной до 300 м и участки субфронтального выклинивания ЗПО со сложной "гофрировкой", шириной до 1100 м.

Мынкудукский продуктивный горизонт в своей средней части сложен мощной пачкой глин озерного происхождения, расщепляющейся по краям на отдельные линзы и прослои на различных гипсометрических уровнях, что привело к послойно-ступенчатому характеру выклинивания ЗПО по всей мощности горизонта с образованием рудных тел на 5 гипсометрических уровнях. Наиболее широкие и протяженные рудные тела приурочены к нижней части горизонта в непосредственной близости от палеозойских (водоупорных) образований.

Параметры уранового оруденения меняются в широких пределах: содержание урана от 0,013 % до 0,150 % при среднем значении 0,042 %, мощность от 0,30 м до 14,80 м при средней 5,70 м.

2.5 История геологического развития района в мезозое-кайнозое

Заложение Шу-Сарысуйской эпикаледонской впадины относится к началу каледонского орогенеза.

В триас-юрское время осадкообразование происходило лишь за пределами района месторождения – в Леонтьевском и Турланском грабенах (хр. Б.Каратау). Остальные площади в обрамлении Шу-Сарысуйской депрессии и в самой депрессии в это время имели вид приподнятого денудационного плато, где в условиях гумидного и субаридного климата протекали процессы интенсивного химического и физического выветривания домезойских пород. Эти процессы привели к дезинтеграции этих образований с высвобождением ряда элементов и минералов и переводу их в миграционноспособные формы. Помимо урана, это относится к таким элементам, как скандий (Sc), рений (Re), иттрий (Y), литий (Li) и др.

В начале раннего мела активизационный режим сменяется платформенным. В неокоме, апте, альбе центры седиментации по-прежнему остаются за пределами района. В литологически благоприятных сероцветных породах накапливаются спорадические концентрации урана сорбулакского

типа. В сеномане в понижениях рельефа зарождаются центры позднемеловой седиментации (пестроцветные песчано-глинистые отложения с гравием и галькой).

Особенностью раннетуронского этапа развития является устойчивое расширение области осадконакопления. Территория района была занята аккумулятивной озерно-аллювиальной равниной с накоплением гравийно-песчаных и пестроцветных глинистых отложений мынкудукского горизонта. К этому времени относится зарождение и активизация деятельности рек палео-Чу, палео-Сарысу и их притоков. Осадкообразование происходило в условиях влажного и теплого климата. Каратау, Итмурунская ступень представляли собой приподнятые участки с преобладанием денудационных процессов и с резко ограниченным осадконакоплением.

После короткого периода тектонического покоя в конце турона произошло обширное воздымание окружающих депрессию поднятий, что привело к накоплению грубообломочных высокопроницаемых галечно-гравийных отложений инкудукского горизонта. Структурный план развития района в целом унаследован с раннего турона, но активность аллювиальной деятельности в инкудукское время была выше. Преобладание в разрезе горизонта зеленоцветных и пестроцветных отложений свидетельствуют о некоторой аридизации климата в это время.

В конце верхнего мела и раннем палеоцене вся депрессия и район работ явились ареной глубокого развития процессов регионального выравнивания и выветривания в окислительных средах с формированием мощной зоны грунтового окисления.

Отложения раннего-позднего палеоцена (уванасский горизонт) накопились в условиях фаций низовий рек, надводной и подводной дельты, заболоченных озерных бассейнов морского побережья.

В конце палеоцена - начале эоцена начался длительный период морских трансгрессий, в течение которого море трижды наступало на район. Поздний эоцен является временем максимальной за весь мезозойско-кайнозойский этап морской трансгрессии. Район обрамления депрессии представлял в эоцене приподнятую холмистую равнину с богатой субтропической растительностью.

По-видимому, уже к концу позднего эоцена относится регрессия морского бассейна и начало длительного (не менее 9 млн. лет) стратиграфического перерыва.

Раннеолигоценовая эпоха в районе отмечена разрастанием областей поднятий – начался активизационный период неотектогенеза, возникновение которого связывается с бактыкарынской тектонической фазой (25-30 млн. лет назад). Для этого времени характерен вид приподнятой денудационной страны, где господствовали процессы выветривания и корообразования в окислительных условиях.

В позднем олигоцене следует новое воздымание областей обрамления Шу-Сарысуйской депрессии, с которыми связывается начало развития региональных ЗПО в отложениях верхнего мела, палеоцена и эоцена. Эти

процессы сопровождаются накоплением преимущественно красноцветных слабокарбонатных образований бетпакдалинской свиты. Длительный суборогенный период неотектогенеза ($P_3^2-N_2^2$), в которой была сформирована главная часть региональных ЗПО, контролирующего урановое оруденение, завершается в позднем плиоцене.

В конце позднего плиоцена резкая активизация глыбово-блоковых движений привела к формированию высокогорных сооружений в орогенных областях Южного Казахстана. В предгорных областях, в межгорных впадинах отложения этого возраста представлены мощными грубообломочными молассами, которые с удалением от предгорий сменяются мелкообломочными и глинистыми образованиями. На территории района месторождения они проявлены спорадически. Тем не менее, орогенические процессы, развивающиеся за пределами района, определяют гидрогеологический режим региона. Интенсификация гидродинамических процессов в Шу-Сарысуйском артезианском бассейне вызвала на многих участках довольно резкие перемещения ранее сформировавшихся ЗПО и связанного с ними уранового оруденения [5, с.120].

2.6 Литолого-фациальная и геохимическая характеристика продуктивных горизонтов

На месторождении Инкай, рудовмещающими являются мынкудукский и инкудукский горизонты. Рудные залежи расположены в нижне- и среднеинкудукском подгоризонтах, поэтому литолого-фациальная и геохимическая характеристика в подразделе приводится по двум продуктивным горизонтам.

Отложения мынкудукского горизонта в вертикальном разрезе представляют собой аллювиальный макроритм первого порядка, в котором выделяются несколько (8 – 10) элементарных циклов мощностью от 1 м до нескольких метров. Каждый из них начинается относительно грубозернистыми, плохо сортированными отложениями и заканчивается мелко- или тонкообломочными породами, реже маломощными (до 20 см) прослоями плотных песчаников с карбонатным цементом. Большинство элементарных циклов не завершено или размыто в ходе последующего осадконакопления.

В нижней части горизонта выделяется 3 – 5 элементарных циклов. Для них характерен пестрый литологический состав слоев, преобладание грубозернистых разновидностей пород, плохая сортировка материала, светло-серые и серые окраски пород, обусловленные присутствием углефицированного растительного детрита. На отдельных участках месторождения в нижней части мынкудукского горизонта распространены пестроцветные песчанистые глины и алевропелиты пойменных фаций.

В верхней части мынкудукского горизонта число элементарных циклов меньше, в их составе отмечается преобладание мелкозернистых разновидностей пород и глин над грубозернистыми. Преобладающая окраска пород светлая, серовато-зеленая, пестрая.

Суммарная мощность отложений мынкудукского горизонта на участке от 55 м до 65 м. Закономерная смена в вертикальном разрезе русловых отложений на пойменные характерна и в горизонтальном направлении, когда первично пестрые и зеленоцветные песчано-глинистые образования пойменных фаций сменяются русловыми грубообломочными сероцветными отложениями.

Соотношение и взаимоположение этих проницаемых и непроницаемых отложений оказывают решающее влияние на характер выклинивания рудоконтролирующего пластового окисления, морфологию уранового оруденения.

Накопление отложений инкудукского горизонта происходило в условиях заметной активизации платформенных тектонических движений. Общий план ориентировки речной системы в коньяк-сантонское время в пределах месторождения существенно не отличался от туронского. Относительно расчлененный рельеф, близость приподнятых областей сноса способствовали отложению очень пестрых по грансоставу, существенно крупно- и грубообломочных, плохо сортированных осадков, часто перемежающихся в разрезе. Прослой алеврито-песчанистых глин, а также средне- и мелкозернистых песков в горизонте занимают резко подчиненное место.

В разрезе горизонта выделяются три подгоризонта, представляющие собой нечетко проявленные аллювиальные циклы, состоящие из множества незавершенных элементарных циклов. Нижний и средний подгоризонты сформированы, в основном, грубообломочными отложениями русловых фаций, верхний - поименно-русловыми осадками; мощность отложений инкудукского горизонта - до 120 м.

На участке выделяются четыре геохимических типа пород. К первому относятся диагенетически восстановленные сероцветные пески и глины, содержащие углефицированные растительные остатки. Ко второму - зеленовато-серые пески и глины, восстановленные как диагенетически, так и эпигенетически глеевыми процессами. К третьему - невосстановленные первично пестроцветные отложения. К четвертому типу относятся породы эпигенетически пластово-окисленные. Первый тип песков чаще встречается в русловых отложениях, третий - в пойменных и водораздельных. Второй геохимический тип песков - промежуточный.

Наибольшую распространенность на месторождении имеет промежуточный геохимический тип пород - зелено-серых, серо-зеленых. Породы данного геохимического типа восстановлены как диагенетически, так и эпигенетически глеевыми процессами и являются менее благоприятными для процесса рудоотложения, чем диагенетически восстановленные сероцветные пески и гравийники русловых фаций.

Таким образом, учитывая подчиненное присутствие особо благоприятных для рудоформирования геохимических типов песков, можно утверждать, что весьма крупные масштабы эпигенетических руд месторождения Инкай в целом обусловлены значительной мощностью, высокой проницаемостью рудовмещающих горизонтов, выдержанностью их состава на многие десятки

километров, достаточно длительно протекающим процессом рудоформирования [9, с.130].

2.7 Вещественный состав руд и вмещающих пород [9]

Минералого-петрографическая характеристика

Урановое оруденение на месторождении развито во всех литологических разностях пород. По химическому составу руды силикатные (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Химический состав руд, содержание, в %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MnO	Сумма
88,4	5,22	1,87	3,49	0,28	0,38	0,12	0,13	0,03	-	0	100,0

Рудовмещающие отложения от безрудных визуально не отличаются и представлены полевошпат-кварцевыми, реже слюдисто-полевошпат-кварцевыми песками.

Обломочный материал, как в рудных, так и в нерудных песчаных и гравийно-песчаных отложениях, разной степени окатанности, представлен кварцем, полевыми шпатами, обломками кремнистых и кислых вулканических пород, небольшим количеством слюды (мусковит, биотит), фрагментами обугленного растительного детрита. Средний минеральный состав руд приведен в таблице 2.2.

От суммы всего обломочного материала кварц в среднем составляет от 50% до 70 %. Содержания обломков кремнистых и кислых вулканических пород изменяются от 3 % до 30 %. Для I, II литолого-фильтрационных типов (гравийно-галечниковых отложений и разнотельных песков с содержанием фракции более 1 мм до 40 %) характерно более высокое содержание кремнистых и кислых обломков, которые представлены микрокварцитами, микрогранитами, кремнистыми и серицит-кремнистыми сланцами.

Средние содержания слюдистых материалов (мусковит и биотит) варьируют от 0 % до 1,8 %. Обугленный растительный детрит в виде мелких фрагментов растений, стеблей, листьев составляет от 0,01 % до 0,11 % и выражен гелифицированной структурной (ксилен, ксилитрен) и бесструктурной тканью. Акцессорные минералы для всех литолого-фильтрационных типов пород одинаковы и представлены: ильменитом, лейкоксенизированным ильменитом, турмалином, ставролитом, гранатом, эпидотом, андалузитом, апатитом, дистеном, цирконом, рутилом. От общей массы породы тяжелая фракция составляет от 0,1 % до 1,7 %.

Таблица 2.2 - Средний минеральный состав руд, содержание, в %

Минералы	Мынкудукский горизонт	Инкудукский горизонт
А. Нерастворимые		
Кварц	61,30	56,60
Обломки кремнистых пород	12,10	23,49
Акцессорные	0,42	1,19
ИТОГО:	73,82	81,28
Б. Труднорастворимые		
Полевые шпаты	17,20	10,36
Каолинит	3,82	3,63
Монтмориллонит	3,04	2,36
Гидрослюды	0,98	0,65
Мусковит	0,27	0,70
Биотит	-	0,08
Органическое вещество	0,04	0,05
ИТОГО:	25,35	17,83
В. Растворимые		
Лимонит	0,58	0,56
Карбонаты	0,10	0,18
Сульфиды	0,10	0,10
Урановые минералы	0,05	0,05
ИТОГО:	0,83	0,89

Полевые шпаты составляют от 5 % до 25 % в зависимости от литолого-фильтрационного типа и представлены ортоклазом, микроклином, плагиоклазом.

Аутигенная минерализация представлена пиритом (марказитом), кальцитом, сидеритом, гетитом, гидрогетитом, самородным селеном, сфалеритом, хлоритом; в оруденелых песках, кроме перечисленных минералов, присутствуют настуран и коффинит.

Цементация рудных песков слабая, в воде они легко размокают. Поровый наполнитель, как в рудных, так и в нерудных отложениях сложен глинисто-алевритовым материалом полимиктового состава и составляет от 11 % до 27 %

от общей массы породы. Вместе с глинистыми минералами во фракции менее 0,05 мм присутствуют неокатанные зерна кварца, полевые шпаты, чешуйки слюды (мусковит, биотит), обрывки обугленного растительного детрита, акцессорные и аутигенные минералы [9, с. 93].

2.8 Урановая минерализация, характер её распределения и структурно текстурные особенности

Урановая минерализация в песчаных и гравийно-песчаных породах накапливается в межзерновом поровом пространстве.

При дезинтеграции и отмачивании глинистых частиц в дистиллированной воде (объем воды 1 дм³ на 100 г навески рудной пробы) часть металла переходит в водную вытяжку, а часть обогащает алеврит-глинистые классы вследствие высокой дисперсности и отсутствия прочных связей рудных минералов с терригенным цементирующим материалом оруденелых песков.

Незначительная часть урана концентрируется в виде псевдоморфоз по обугленному растительному детриту, на зернах ильменитов и лейкоксенов, а также в кавернах, микротрещинах и микропорах песчаных, гравийных зерен и галек, в межслоевых промежутках слюд. Таким образом, руды месторождения Инкай, характеризуются дисперсной и тонковкрапленной текстурой, интерстиционной структурой.

Урановая минерализация на месторождении Инкай представлена настураном и коффинитом. Соотношения окисла и силиката урана приведены в таблице 2.3. Колебания в значениях объясняются дисперсностью руд (для рентгенфазового анализа), недостаточной статистикой по отдельным элементам ролла [9, с. 95].

Таблица 2.3 - Баланс урановых минералов в рудах на месторождениях, %

Горизонт	Настуран	Коффинит
Инкудукский	77	23
Мынкудукский	87	13
В целом по месторождению	82	18

Настуран – окись урана – дифракционная картина аналогична кубической решетке флюоритового типа. Параметры кристаллической ячейки изменяются от $(5,36 \pm 0,02) \text{ \AA}$ до $(5,42 \pm 0,02) \text{ \AA}$. Макроскопический это черный, темно-серый, сажистый минерал, образующий дисперсную вкрапленность и мелкие скопления в глинисто-алевритовом заполнителе рудных песков, налеты и корочки на обломочных зернах, тонкую вкрапленность во фрагментах обугленного растительного детрита. Редко настуран высаживается на поверхности зерен пирита или лейкоксенов и может образовывать псевдоморфозы по последнему.

В проходящем свете урановые минералы неотличимы от обугленного

растительного детрита. В отраженном свете они имеют серый цвет и выше, чем у кварца и органики, отражательную способность.

Коффинит – силикат урана – также как и настуран диагностируется рентгенфазовым анализом, как и настуран присутствует в виде тонкорассеянной черной вкрапленности в поровом глинисто-алевритовом заполнителе песков. Кристаллические индивиды минералов имеют размеры от 0,1 мкм до 0,01 мкм и представлены микроглобулями и веретенovidными образованиями, которые в результате срастания и частичной перекристаллизации вещества образуют почковидные сферокристаллические агрегаты с концентрически зональными и радиально-лучистыми трещинами отдельности размером от 5 мкм до 10 мкм.

Поверхность веретенovidных почек у коффинита относительно гладкая и мелкобугорчатая у глобулей настурана. Часто, глобули настурана покрыты микрокристаллитами, легко извлекаемыми на реплику. Таким образом, убогие и богатые руды отличаются не составом урановых минералов, а характером их распределения – убогие руды более дисперсные, чем богатые.

Содержания в руде $C_{орг.}$, валового и закисного железа по классам содержаний урана приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Зависимость геохимических параметров рудных песков мынкудукского горизонта от содержаний урана

Геохимические параметры	Содержания урана в пробах по интервалам, %				
	0,01-0,03	0,031-0,050	0,051-0,070	0,071-0,100	более 0,100
$C_{орг.}$ (%)	$\frac{0,035}{80}$	$\frac{0,039}{57}$	$\frac{0,038}{40}$	$\frac{0,045}{33}$	$\frac{0,049}{32}$
Fe_2 (%)	$\frac{0,39}{67}$	$\frac{0,43}{57}$	$\frac{0,49}{40}$	$\frac{0,50}{33}$	$\frac{0,71}{32}$
$(Fe_2 + Fe_3)$ (%)	$\frac{0,86}{67}$	$\frac{0,79}{57}$	$\frac{1,10}{40}$	$\frac{1,10}{33}$	$\frac{1,48}{32}$
Примечание - Числитель – значение содержания; знаменатель – число проб					

2.9 Генезис урановых руд

Образование месторождений урана связано с геохимическими особенностями его поведения. Шестивалентные соединения урана имеют высокие миграционные способности в подземных водах в отличие от четырехвалентных соединений. Переходя из раствора в твердую фазу, уран образует как самостоятельные минералы, так и входит в состав неурановых минералов в виде примесей. Из всего разнообразия урановых месторождений для промышленного освоения наиболее интересны магматогенные (гидротермальные), образующиеся в результате глубинных магматических и

метаморфических процессов, и экзогенные, формирующиеся под влиянием факторов земной поверхности. Как правило, месторождения урана, отработываемые методом скважинного подземного выщелачивания, относятся к классу экзогенных и объединяются в подгруппу «инфильтрационные» (также используется термин «месторождения зон пластового окисления») [10].

По современным представлениям [11], образование месторождений происходит в результате инфильтрации кислородосодержащих атмосферных вод по проницаемым зонам земной коры. Вначале имеет место выщелачивание урана из горных пород, а после израсходования растворенного кислорода на окисление находящихся в породе восстановителей, происходит образование плохо растворимых минералов урана. Таким образом, скважинное подземное выщелачивание урана можно рассматривать как процесс, обратный формированию месторождений.

Инфильтрационные месторождения образуются в результате движения подземных вод и отложения переносимого ими урана на окислительно-восстановительном барьере. В соответствии с этим, месторождения урана можно классифицировать по гидрогеологическому виду рудообразующих подземных вод и типу восстановителей [12].

В зависимости от вида рудообразующих подземных вод инфильтрационные месторождения разделяются на:

- пластово-инфильтрационные (латеральное движение пластовых напорных вод);
- грунтово-инфильтрационные (нисходящее и частично латеральное движение грунтовых ненапорных вод);
- ураноугольные (нисходящее и частично латеральное движение грунтово-пластовых слабонапорных и ненапорных вод);
- трещинно-инфильтрационные (нисходящее движение трещинных ненапорных вод);
- карстово-инфильтрационные (нисходящее движение карстовых ненапорных вод).

По типу восстановителей месторождения можно разделить на образованные сингенетическими восстановителями (углистое вещество, растительный детрит, массивные угли) и эпигенетическими восстановителями (дисульфиды железа, нефть и битумы, восстановительные газы – сероводород, углеводороды, водород).

Для отработки методом скважинного подземного выщелачивания наиболее подходят пластово- и грунтово-инфильтрационные месторождения. Пластово-инфильтрационные месторождения образуются на геохимических барьерах, созданных различными восстановителями. Грунтово-инфильтрационные месторождения связаны с сингенетическим типом восстановителей [13-14].

Месторождение урана Инкай – эпигенетическое пластово-инфильтрационное; его руды пространственно и генетически связаны с границей выклинивания региональной зоны пластового окисления в проницаемых горизонтах верхнего мела. Рудовмещающая толща представлена

континентальной пестроцветной аллювиальной формацией. Наиболее благоприятны для рудоотложения – сероцветные гравийно-песчаные образования русловых фаций. Распространение фаций контролируется конседиментационными структурами. Литолого-фациальный контроль более отчетливо выражен для руд нижнего, мынкудукского горизонта, в вышележащей инкудукской, толще почти не проявлен.

Можно утверждать, что весьма крупные масштабы руд месторождения Инкай обусловлены значительной мощностью, высокой проницаемостью рудовмещающих горизонтов, выдержанностью их литологического состава на десятки и сотни километров, и достаточно длительным по времени процессом уранонакопления.

Невысокие параметры основных восстановителей – углерода органических соединений ($C_{орг}$), железа общего, серы сульфидной определили неконтрастность геохимического барьера; что не позволило накопиться здесь в промышленных масштабах сопутствующим урану элементам.

Накопление урановых руд на восстановительном барьере происходило в результате длительного многоэтапного развития, тесно связанного с этапами формирования депрессионной структуры, важнейшими из которых являются:

- 1) домезозойский, с широким проявлением процессов, приведших к образованию группы формаций, специализированных на уран;
- 2) триас-юрский, в течение которого, в областях, окружавших зоны орогенеза и седиментации, развивались процессы гумидного выветривания с переработкой и дезинтеграцией домезозойских пород;
- 3) мел-палеогеновый, когда происходило накопление проницаемых сероцветных горизонтов, регионального глинистого водоупора.

Формирование зоны пластового окисления (ЗПО) и уранонакопление связаны с позднеолигоценными и миоценовыми этапами суборогенного тектогенеза. В поздне-плиоценовое-четвертичное время, в период позднеальпийского тектогенеза, произошло переотложение олигоцен-миоценового оруденения. Рудные залежи месторождения располагаются в настоящее время в зоне наиболее активного современного потока подземных вод артезианского бассейна.

Источники крупномасштабного уранового оруденения региональные. Ими являются как вмещающие породы, подвергавшиеся воздействию кислородсодержащих вод в течение долгого времени, так и коры выветривания и породы обрамляющих депрессию горных сооружений [9-14].

3 ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПОСОБА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

3.1 Процесс подземного скважинного выщелачивания

Подземное скважинное выщелачивание позволяет вовлечь в разработку месторождения полезных ископаемых, залегающих на значительных глубинах (недоступных по экономическим показателям для обычной технологии добычи урана), месторождения бедных руд и т.п.

Подземное выщелачивание является практически безотходным способом добычи и первичной переработки радиоактивного сырья, поскольку при его применении исключаются:

- выдача руды и горной массы на поверхность, создание отвалов пустых пород и хвостохранилищ гидрометаллургического передела руд;
- выдача на поверхность загрязнённых дренажных подземных вод и сброс их в поверхностные водотоки;
- загрязнение воздушного бассейна пылью и вредными газами.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – это сложный физико-химический процесс, протекающий в геологической среде. Динамика этого процесса, его особенности определяются фациально-литологическими свойствами рудовмещающих горизонтов, руд и всего разреза в целом.

Подземное выщелачивание относится к фильтрационным процессам и основано на химических реакциях «твёрдое тело - жидкость». Скважинная система добычи наиболее эффективная, так как позволяет резко сократить количество объектов капитального строительства и уменьшить капитальные затраты в 2-4 раза по сравнению с обычным горным способом добычи [15]. Кроме того, скважинные системы обеспечивают возможность постепенного ввода предприятий в эксплуатацию в 3-4 очереди и более. При этом первая конечная продукция и отдача от капитальных вложений могут быть получены в очень короткие сроки, а дальнейшее развитие предприятий может частично финансироваться прибылью от эксплуатации [16-17].

Общая себестоимость продукции на предприятиях скважинного выщелачивания в 3-6 раз ниже ее себестоимости на предприятиях с горным способом. Скважинные системы подземного выщелачивания позволяют также резко снизить требования к содержанию урана в рудах и эффективно вовлекать в освоение месторождения убогих руд. Возможные ресурсы урана в таких месторождениях, несомненно, многократно превышают его ресурсы в месторождениях богатых руд. В целом именно скважинное выщелачивание представляет собой новую, революционную технологию, способную принципиально изменить экономику производства урана [18-20].

При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых (в плане) рядами, многоугольниками, кольцами. В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие скважины (рисунок 3.1).

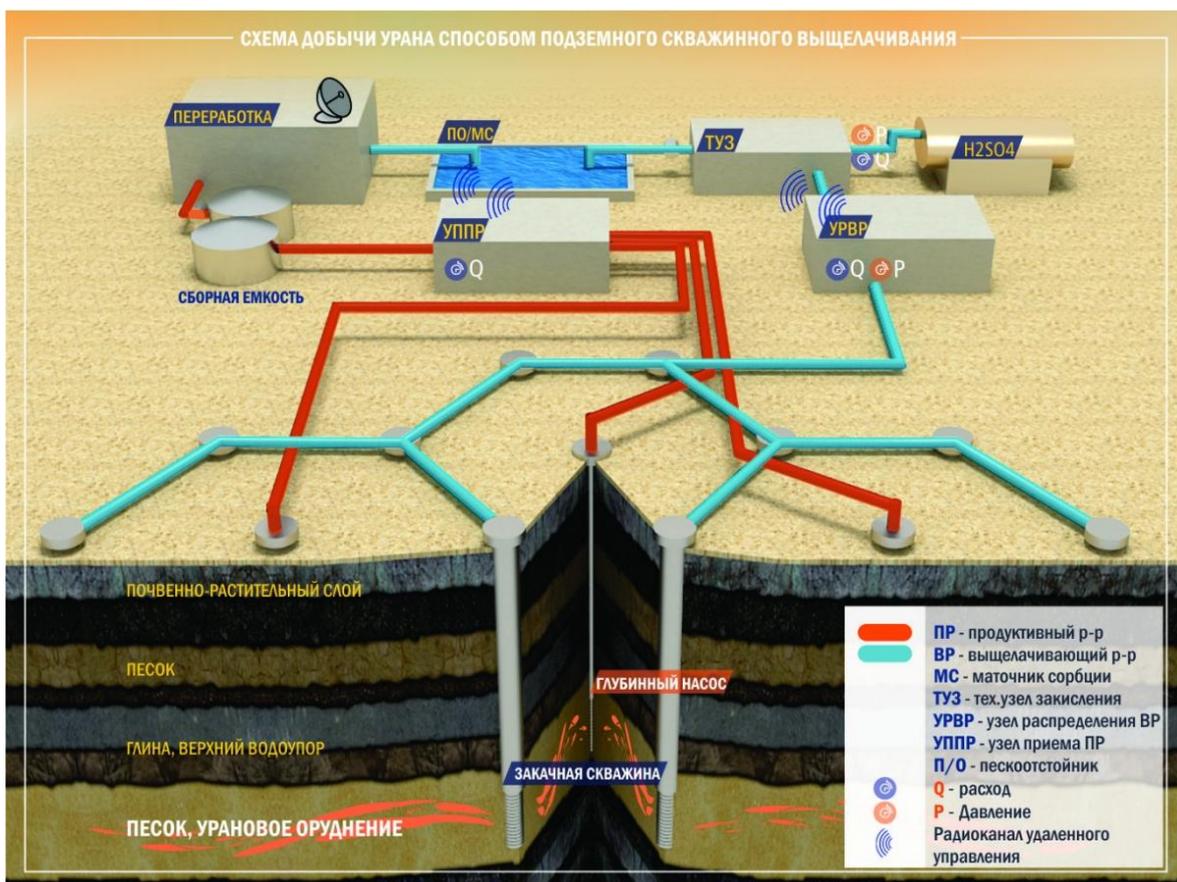


Рисунок 3.1 - Схема добычи урана способом подземного скважинного выщелачивания [1, с.1]

Технологический этап отработки запасов методом ПСВ делится на три стадии:

- 1) закисление рудной залежи, подготовка рудовмещающего водоносного горизонта к формированию и движению в нем потока продуктивных растворов;
- 2) активное выщелачивание, т.е. формирование и извлечение из блоков кондиционных продуктивных растворов;
- 3) довыщелачивание («отмывка») урана, т.е. вытеснение остаточных урансодержащих кондиционных растворов пластовыми водами или бедными (маточными) растворами.

Такое деление, условно, поскольку практически в различных зонах одного и того же блока одновременно протекают все три стадии, а фиксация времени начала и окончания каждой стадии для блока проводится по выявлению в откачных скважинах продуктивных растворов. В технологическом плане при серноокислотном ПСВ для каждой стадии процесса устанавливается определенный режим кислотности закачного раствора. Так, для эксплуатационных блоков, характеризующихся незначительной карбонатностью рудовмещающих отложений (до 1% по CO_2), в качестве оптимального был принят следующий режим кислотности закачных растворов: на стадии закисления 20-30 г/л, на стадии активного выщелачивания около 10 г/л, на стадии «отмывки» в закачные скважины подавался «маточный» раствор

после сорбции или без дополнительного подкисления. В зависимости от вещественного состава руд и пород рудовмещающего горизонта возможны и другие режимы закисления и отработки рудных залежей [21].

В процессе ПСВ буровая скважина выполняет широкий комплекс различного рода функций: геологическая разведка, вскрытие и подготовка запасов, отработка запасов, управление движением технологических растворов в продуктивной толще путем создания в эксплуатационном блоке гидродинамической обстановки, обеспечивающей формирование такой структуры фильтрационного потока растворов, которая в максимальной степени благоприятствовала бы течению физико-химических процессов ПСВ; контроль количества и качества откачиваемых и закачиваемых растворов, создание противофильтрационных завес; контроль гидродинамических и физико-химических параметров ведения процесса ПСВ; контроль полноты извлечения урана из руд; охрана окружающей среды от возможного физико-химического загрязнения.

Технологические скважины, предназначенные для подачи в недра рабочих растворов - закачные (нагнетательные) и для подъема технологических растворов на поверхность - откачные (разгрузочные), обеспечивают выполнение ещё одной важнейшей функции - через них осуществляется регулирование гидродинамического режима в продуктивном пласте, определяющего пути и скорости фильтрации рабочих растворов.

Барражные скважины предназначены для создания вертикальных и горизонтальных противофильтрационных завес, ограничивающих вытекание выщелачивающих растворов за пределы эксплуатационного блока, а также для уменьшения охвата этими растворами пород, вмещающих рудную залежь.

Наблюдательные скважины предназначены для наблюдения и контроля за условиями формирования растворов в пределах эксплуатационных блоков, гидродинамическим состоянием продуктивного водоносного горизонта, растеканием технологических растворов за пределы эксплуатационных участков и их возможным протеканием в надрудный и подрудный водоносные горизонты.

Контрольные скважины бурятся на отработанных участках для контроля полноты извлечения полезного компонента из недр, исследования техногенных изменений рудовмещающих пород, контроля возможного загрязнения окружающей среды.

Разведочные скважины бурятся на всех стадиях геологоразведочных работ - от поисковых до эксплуатационно-разведочных. Наибольшее распространение у нас и за рубежом получили системы ПСВ через скважины с поверхности направленным фильтрационным потоком растворов реагента. При этом в зависимости от геологических условий и фильтрационных свойств рудного массива возможны системы ПСВ с ячеистым и линейным расположением скважин. Площадные или ячеистые системы расположения скважин обычно применяются для разработки залежей, приуроченных к осадочным слоистым неоднородным рудам и породам горизонтального или слабо наклонного

залегания, в условиях относительно низкой водопроницаемости руд $K_{\phi} = 0,1-1,0$ м/сутки. Эти системы представляют собой равномерное чередование на площади залежи откачных и закачных скважин, образующих между собой ячейки (треугольные, квадратные, гексагональные) с небольшими межскважинными расстояниями (8-20 м) [21, с. 1].

Эффективность отработки блока методом подземного выщелачивания зависит от комплекса природных и технологических факторов. Все природные факторы условно можно разделить на две группы: влияющие на гидродинамические и физико-химические процессы.

Природные геологические и гидрогеологические факторы, влияющие на гидродинамические процессы, представлены в таблицах 3.1. и 3.2. соответственно. Там же дана оценка их влияния на эффективность выщелачивания [13].

Таблица 3.1 - Факторы геологического строения и их влияния на эффективность выщелачивания

Оценка влияния	Очень благоприятная	Благоприятная	Менее благоприятная	Не благоприятная
Характеристика				
Мощность продуктивного горизонта	<10м	10-20м	20-30м	>30м
Отношение мощности рудной залежи к мощности рудовмещающего горизонта	>0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	<0,1
Ширина рудного тела	>200м	100-200м	50-100м	<50м
Глубина залегания рудного тела	<100м	100-300м	300-500м	>500м
Положение рудного тела в водоносном горизонте	В базальной части	В нижней части	В средней части	В верхней части
Расположение рудного тела в вертикальном разрезе	Одноярусное	Двухъярусное	Трёхъярусное	Многоярусное

Таблица 3.2 - Минералогические, химические, физические факторы и их влияние на эффективность выщелачивания

Оценка влияния	Очень благоприятная	Благоприятная	Менее благоприятная	Не благоприятная
характеристика				
Наличие и состояние водоупоров	Сплошные верхний и нижний водоупоры	Прерывистый верхний и сплошной нижний водоупор	Прерывистые верхний и нижний водоупоры	Отсутствие верхнего и нижнего водоупора
Проницаемость руд, м/с	>5	2-5	0,5-2	<0,5
Коэффициент фильтрационной неоднородности	>0,75	0,75-0,5	0,5-0,25	<0,25
Водопроницаемость руд, м ² /сут	>100	100-50	50-10	<10
Глубина залегания уровня подземных вод, м	<10	10-50	50-100	>100
Запасы урана в проницаемых рудах, %	>80	80-60	60-40	<40
Активная пористость руд, %	>30	30-20	20-10	<10
Литологический состав руд	Хорошо отсортированные песчано-гравийные отложения	Отсортированные крупно- и среднезернистые пески	Неотсортированные мелко- и среднезернистые пески	Тонкозернистые - алевритовые пески
Доля глинисто-алевритовой части, %	<10	10-20	200-30	>30

На эффективность процесса подземного выщелачивания влияет так же тип урановой минерализации. Основными урановыми минералами в

месторождениях, обрабатываемых способом скважинного подземного выщелачивания, являются окислы урана (настуран, урановая чернь) и силикаты урана (коффинит). Применительно к подземному выщелачиванию урановые руды можно условно разделить на три группы [22]:

-в первую группу входят руды, из которых выщелачивание урана безприменения окислителей затруднено. Эти руды содержат минералы, в которых уран находится, в основном, в четырехвалентной (восстановленной) форме (окислы урана - уранинит, настуран или урановая смолка, силикат урана - коффинит);

-в рудах второй группы уран находится, по большей части, в шестивалентном состоянии и легко переходит в слабые серноокислотные и щелочные растворы. Минералами, составляющими эти руды, являются гидроокислы - скупит и др., ванадаты - карнотит, тюямунит и др., фосфаты - отенит, торбернит и др., силикаты - уранофан и др;

-третью группу составляют практически не растворимые в слабых серноокислотных и щелочных растворах без применения интенсифицирующих методов (измельчение, подогрев, высокие концентрации выщелачивающих реагентов и т.д.) минералы: давидит, браннерит и др.

Интенсивность процесса подземного выщелачивания также зависит от доступности поверхности урановых минералов для реагента. Наиболее благоприятными являются условия, когда урановые минералы присутствуют в тонкодисперсных порошковых формах, находятся на открытых поверхностях пор и трещин.

Эпигенетические урановые месторождения региональных зон пластового окисления, сформировавшиеся при циркуляции кислородных атмосферных вод, выщелачивающих уран из горных пород областей питания, транзита и сбрасывания его на геохимических барьерах на пути следования к областям разгрузки позволяют применять метод подземного скважинного выщелачивания в условиях естественной проницаемости пород. Подобные месторождения встречаются в особых геологических обстановках, обычно перекрыты толщами без рудных пород и слабо проявлены или совсем не проявлены на поверхности.

При подземном выщелачивании уран извлекается путем ионного обмена в процессе управляемого движения раствора реагента через проницаемые породы. Необходимым условием применения ПСВ является также присутствие полезного компонента в растворимой форме, достаточная обводненность руд, благоприятные горно-геологические и гидрогеологические условия, позволяющие осуществить подачу реагента к руде и откачку продуктивных растворов, а также возможность извлечения из них полезного компонента [17, с. 3; 20, с. 62; 19, с. 24].

Для успешной разработки месторождений урана методом скважинного подземного выщелачивания необходимо выполнение следующих условий:

– рудное тело и рудовмещающий горизонт обладают высокой проницаемостью;

– гидрогеологическое строение рудовмещающего горизонта позволяет рабочим раствором перемещаться от закачных скважин к рудному телу, и, затем, к откачным скважинам;

– ураносодержащие минералы легко разрушаются под действием рабочих растворов с небольшой концентрацией выщелачивающего реагента с последующим переходом урана в раствор;

– расход выщелачивающего реагента на взаимодействие с породообразующими минералами незначителен.

Поскольку при отработке месторождений урана большинство скважин проходится без отбора керна, геофизические исследования скважин (ГИС) являются основными, а зачастую и единственными методами получения наиболее полной информации об особенностях геологического разреза и характеристики уранового оруденения по каждой скважине [23].

3.2 Комплексование ГИС при отработке месторождении урана методом ПСВ

Виды и периодичность геофизических исследований скважин зависят от задач, которые необходимо решать на каждом этапе работ изучения месторождения, и от условий, в которых их нужно проводить [24].

Геофизические исследования скважин выполняются для решения следующих задач:

1. Геотехнологические:

– определение параметров рудных пересечений (мощность, содержание);
– определение глубины залегания рудных тел;
– литолого-фациальное расчленение разреза;
– определение эффективной мощности проницаемых пород продуктивного горизонта;

– определение коэффициентов фильтрации рудовмещающего горизонта;
– изучение распространения технологических растворов в разрезе скважины и в плане блока;

– изучение динамики выщелачивания урана в процессе отработки.

2. Технические:

– определение азимутальных отклонений и углов наклона скважины;
– определение истинного диаметра скважины;
– определение целостности обсадных колонн из полиэтиленовых труб;
– определение интервала размещения фильтров и контроль правильности их установки;

– изучение приемистости фильтров;
– контроль цементации и качества гидроизоляции рудовмещающего горизонта;

– определение границ и качества гравийной обсыпки фильтровой зоны;

– оценка расхода технологических растворов в местах нарушения обсадной колонны.

3. Экологические:

– контроль за растеканием растворов в вышележащие водоносные горизонты;

– изучение динамики восстановления среды после завершения процесса отработки.

Для решения геотехнологических, технических и экологических задач на различных этапах проведения работ применяются следующие геофизические методы исследования скважин [25]:

- гамма-каротаж (ГК);
- каротаж методом мгновенных нейтронов деления (КНД-м);
- электрокаротаж методами кажущегося сопротивления (КС) и самопроизвольной поляризации (ПС);
- индукционный каротаж (ИК);
- токовый каротаж (ТК);
- инклинометрия (ИНК);
- кавернометрия (КМ);
- расходомерия (РХ).

Оценка качества геофизических работ проводится на основе требований, изложенных в «Инструкции по применению классификации запасов к гидрогенным месторождениям урана» (Астана, 2008г.) и «Инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений» (Москва, 1987г.). Соблюдение требований этих документов при проведении геофизических исследований является основой для получения качественных результатов работ. Надежность и достоверность выполнения подсчета запасов урана практически полностью зависят от качества и достоверности выполнения полевых геофизических работ, правильности методики интерпретации и определения параметров уранового оруденения по геофизическим данным.

3.2.1 Определение содержаний урана

Гамма-каротаж (интегральный)

Гамма-каротаж основан на регистрации гамма-излучения естественных радиоактивных элементов, содержащихся в горных породах, пересеченных скважиной. Измеряемая величина – скорость счета гамма-квантов в импульсах в минуту (имп/мин). Основная расчетная величина – мощность экспозиционной дозы (МЭД) в микрорентгенах в час (мкР/ч).

Измеряемая величина определяется концентрацией, составом и пространственным распределением естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), плотностью σ_n и эффективным атомным номером $Z_{эфф}$ пород.

Гамма-каротаж является одним из основных методов работ, проводимых на радиоактивные руды.

При проведении гамма-каротажа в скважинах урановых месторождений используются скважинные приборы с кристаллическими детекторами (NaJ(T))

размерами 30x70, 18x40, окруженные свинцовыми экранами 0,9-1,1 мм и 1,3-1,5 мм соответственно. Использование свинцовых экранов позволяет существенно уменьшить зависимость результатов измерений от значений $Z_{эфф}$ в пределах продуктивных горизонтов, т.е. устранить влияние литологического состава пород на результаты измерений. Это дает возможность с высокой степенью определять мощность, концентрацию и стволовые запасы урана в скважинах.

Минимальные требования к методическому обеспечению заключаются в наличии градуировочных зависимостей позволяющих перейти от скорости счета (в имп/мин) к мощности экспозиционной дозы, выраженной в микрорентгенах в час, или эквивалентной массовой доле урана, выраженной в промилле урана ($1 \text{ ppmU} = 1 \text{ г/т урана} = 1,10\text{-}4\% \text{ урана}$).

При поисках, разведке и отработке урановых месторождений ведущая роль принадлежит гамма-каротажу, под которым понимают метод изучения состава и свойств горных пород и руд, основанный на измерениях вдоль ствола скважины ионизирующего излучения сопровождающего распад естественных радионуклидов (ЕРН): урана/радия, тория и калия. Этот метод является обязательным на всех этапах работ на месторождениях урановых руд – от оценки до эксплуатации [26; 91, с. 79].

Различают интегральный ГК (основанный на измерении интегральной характеристики поля гамма-излучения) и спектрометрический (основанный на измерении характеристик спектра гамма-излучения). Гамма - каротаж применяют для определения параметров рудных интервалов при подсчете и учете запасов урана на урановых месторождениях, для построения литологического разреза, для определения параметров при подсчете запасов сырья, для экспрессной оценки технологических параметров руд, для получения исходных данных с целью прогноза радиационной опасности при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и т. д.

При грамотной постановке интегральный гамма - каротаж обеспечивает выполнение следующих основных требований [26, с. 28]:

1) диапазон измерений мощностей рудных интервалов от 0,3 м до 10 м; доверительная погрешность определения мощности 0,15 м;

2) диапазон измерений массовых долей 0,005% – 15% равновесного урана, доверительная погрешность определения массовых долей в рудных интервалах 15%;

3) среднее квадратическое отклонение между результатами ГК и геологического опробования керна по мощности не превышает 20 см, а относительное среднее квадратическое отклонение по «метропроценту» не превышает 20%;

4) предельно допустимые отклонения определения глубины залегания рудных интервалов, подсчитанные по результатам основного и контрольного гамма-каротажей, не превышают значений, приведенных в таблице 3.3.

Порог чувствительности массовой доли урана в рудном интервале мощностью 0,3 м и более 0,005% равновесного урана.

Таблица 3.3 - Предельно допустимые отклонения определения глубины рудных интервалов [24;26, с. 28]

Глубина рудного интервала, м		Допустимое отклонение глубины, м
от	до	
	300	0,20
300	500	0,50
500	1000	1,00
1000	2000	1,50
2000	3000	2,00

Среднюю массовую долю урана в рудном интервале находят по формуле [27, с. 99].

$$q = \frac{S(U)}{K_o \cdot H} - q_0, \quad (3.1)$$

где $S(U)$ - площадь каротажной диаграммы [(мкР/ч)*см];

H – мощность рудного подсечения;

K_o – пересчетный коэффициент;

q_0 – эквивалентный по интенсивности гамма-излучения вклад Th и K .

В площадь аномалии, полученную непосредственно по данным гамма-каротажа (S) одним из нижеприведенных способов, вводят поправки за свойства руд и условия измерения [27, с. 99]:

$$S(U) = \frac{1}{K_{pp}} \cdot \left[\frac{S \cdot P}{\Pi_B \cdot \Pi_0 \cdot (1 - B)} \right], \quad (3.2)$$

где P – поправка за отжатие радона буровым раствором в пласт;

Π_B, Π_0 – поправки за поглощение гамма-излучения в буровом растворе (Π_B) и обсадных трубах (Π_0);

B – влажность руды;

K_{pp} – коэффициент радиоактивного равновесия между ураном и радием.

Для определения средней массовой доли урана в рудном интервале с помощью кривых насыщения по графику находят $f(H) = J_{\max}/J_{\infty}$ и рассчитывают по формуле [27, с. 102]:

$$q = \frac{J_{\max}}{K_o \cdot f(H)} - q_0, \quad (3.3)$$

где J_{\max} – максимальная интенсивность гамма-излучения в границах рудного интервала с учетом всех поправочных коэффициентов формулы (3.3).

Для организации работ по ГК скважин достаточно иметь одноканальный каротажный гамма-радиометр в составе: скважинный прибор с детектором на основе монокристалла NaI(Tl), пульт управления с компьютером, геофизический кабель, блок измерения (датчик меток) глубины (БИГ) – для привязки данных каротажа по глубине.

3.2.2 Оценка радиоактивного равновесия в урановых рудах

Естественная радиоактивность горных пород связана с присутствием в них радиоактивных элементов, в первую очередь урана-238, тория-232 и радиоактивного изотопа калия ($K-40$) [28]. Если при превращении ядра ^{40}K образуются сразу стабильные изотопы Ca и Ar, то при распаде ядер урана и тория вновь образованные изотопы также являются радиоактивными. Вслед за распадом U и Th тянутся целые цепочки радиоактивных превращений, заканчивающиеся образованием стабильных изотопов свинца. Изотопы элементов, участвующие в этих последовательных превращениях, образуют так называемые радиоактивные ряды, родоначальниками которых являются уран и торий. Так, радий и радон входят в состав уранового ряда.

Главной особенностью радиоактивных рядов является то, что наиболее долгоживущим (наименее радиоактивным) элементом ряда является его родоначальник, т.е. уран или торий. Все остальные элементы ряда распадаются быстро. Это обстоятельство, а также экспоненциальный характер закона радиоактивного превращения приводят к важному свойству радиоактивных рядов - радиоактивному равновесию. Оно проявляется, в неизменности количеств элементов середины ряда, поскольку число распадающихся и образующихся атомов уравновешено. Количества атомов радиоактивных элементов ряда взаимосвязаны между собой и с количеством атомов родоначальника, т.е. урана или тория [27, с. 90]:

$$\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2 = \dots = \lambda_i \cdot N_i = \dots = \lambda_n \cdot N_n, \quad (3.4)$$

где λ_i , - постоянная распада i -го элемента ряда;

N_i - количество атомов этого элемента.

Согласно соотношению (3.4), зная количество атомов одного элемента ряда, можно определить количество всех остальных.

Произведение $\lambda \cdot N = A$ называется активностью вещества. Учитывая смысл λ , как вероятности распада за единицу времени, активность равна числу распадающихся атомов за единицу времени. Активность в один распад в секунду называется беккерелем (Бк).

Согласно уравнению радиоактивного равновесия [27, с. 90] активность элементов ряда может быть выражена через активность его родоначальника

$$A = n \cdot \lambda \cdot N, \quad (3.5)$$

где n - количество элементов в ряду.

Иными словами, чтобы оценить радиоактивность уранового или ториевого ряда, достаточно знать количество урана или тория. Это обстоятельство очень упрощает изучение радиоактивности пород, так как в случае радиоактивного равновесия отпадает необходимость в определении содержаний тех радиоактивных элементов, которые входят в состав рядов. В урановом ряду равновесие наступает через $8 \cdot 10^5$ лет, в ториевом ряду – примерно через 70 лет.

Нарушение радиоактивного равновесия в урановых рудах

Нарушение радиоактивного равновесия в урановом ряду связано с процессами раздельной миграции U и продуктов его распада, а также с эманированием руд.

Миграция твердых продуктов распада урана определяется, главным образом, их химическими свойствами, а миграция радона (эманирование) связана с физическими процессами, определяющими его выделение из породы и движение по капиллярам и трещинам.

Количественно нарушение радиоактивного равновесия характеризуется коэффициентом радиоактивного равновесия (K_{pp}), под которым понимают отношение количеств данного изотопа к родоначальнику или предшествующему по ряду распада, причем количество обоих элементов выражают в единицах равновесного с ними урана. Например, K_{pp} между ураном и радием получают по формуле [27, с. 91]:

$$K_{pp} = \frac{C(Ra)}{C(U)} \cdot \frac{1}{3.4 \cdot 10^{-7}}, \quad (3.6)$$

где $C(U)$ - содержание урана в массовых долях или процентах;

$C(Ra)$ - содержание радия в массовых долях или процентах.

При сохранении радиоактивного равновесия коэффициент равен единице. Если $K_{pp} < 1$, то равновесие сдвинуто в сторону урана, если $K_{pp} > 1$, то – в сторону радия [35].

В урановом ряду радиоактивное равновесие может быть нарушено между U-238 и U-234, U-238 и Th-230 (Io) и Ra и между Ra и Rn. Практически при гамма-измерениях под нарушением радиоактивного равновесия понимают нарушение между U и Ra. Зональные нарушения связаны с миграцией урана, характером его выноса и накопления. В каждой геохимической зоне радиоактивное равновесие нарушено, преимущественно, в одну сторону. На осадочных урановых месторождениях зональные нарушения радиоактивного равновесия проявляются в водопроницаемых породах при зональном изменении состава вод.

Зональное нарушение радиоактивного равновесия между ураном и радием наблюдается на пластово-инфильтрационных месторождениях урана, связанных с региональными зонами пластового окисления (ЗПО).

Нарушение радиоактивного равновесия учитывается при определении содержания урана по данным гамма-каротажа. Нарушение равновесия можно обнаружить, сопоставляя показаний ГК и КНД-м.

Каротаж мгновенных нейтронов деления ядер урана (КНД-м)

При добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания содержание урана в продуктивной залежи все время изменяется. Поэтому необходим постоянный контроль за изменением содержания урана в процессе его выщелачивания из залежи. Для управления технологическим процессом выщелачивания необходимо иметь сведения о текущей ураноносности эксплуатируемых залежей в условиях естественного залегания, контролировать качество и промышленную ценность руды, разделять кондиционные и забалансовые руды.

Традиционным методом при геофизических исследованиях скважин, пробуренных на месторождениях урана гидрогенного типа, является гамма-каротаж (ГК), данные которого позволяют рассчитать среднюю концентрацию урана в рудном интервале, пересеченным скважиной. Применение метода ГК базируется на предположении о постоянстве коэффициента радиоактивного равновесия в руде. Однако, основные параметры подсчета запасов (тоннаж и среднее содержание урана), определяемые с помощью гамма-каротажа, могут иметь значительные погрешности.

Решение проблемы прямого определения содержания урана Демехов Ю.В. предлагает в своей диссертационной работе [30] методом каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-м), возникающих в результате облучения ураноносной залежи дейтерий-третиевыми нейтронами импульсного генератора нейтронов с энергией 14,1 МэВ. Быстрые нейтроны генератора замедляются до тепловой энергии и вызывают деление ядер урана-235. Определение содержания урана-238 основано на существующем в природе постоянном соотношении между изотопами урана-235 и 238.

КНД-м исключает погрешности, вызванные нарушением радиоактивного равновесия между продуктами распада урана (Ra-226), обусловленные их различной миграционной способностью.

Двухзондовый каротаж нейтронов деления позволяет напрямую определять содержание урана в рудном интервале, исключая влияние других факторов в скважине, заполненной грунтовыми водами, слабокислым, слабощелочным или буровым растворами.

На гидрогенных месторождениях урана нарушение радиоактивного равновесия – обычное и характерное явление.

Разработанный программно-аппаратурный комплекс проведения КНД-м (КНД-48/53), реализующий двухзондовую методику измерений параметров уранового оруденения, позволяет за одну операцию спуска-подъема получить следующие данные:

1. При проходе снаряда к забою скважины осуществлять гамма-каротаж со скоростью до 600 м/ч по которому выделяется рудный интервал.

2. При обратном ходе проводить КНД-м каротаж со скоростью до 50 м/ч, по результатам которого определяются следующие параметры:

-диапазон измерений массовой доли природного урана: 0,005 - 0,5 %;

-диапазон измерений массовой доли радия (в эквиваленте урана): 0,005 - 1 %;

-диапазон проницаемости, пористости с погрешностью $\pm 1-2$ % абс, глинистости с погрешностью определения, не превышающей погрешности их определения геологическими методами, влажности, измерение времени жизни нейтронов в пласте.

Использование КНД-м на стадии геологоразведочных работ позволяет существенно сократить расходы за счет:

1. Увеличения доли безкернового бурения до 85-90 % от общего объема буровых работ.

2. Сокращения затрат на транспортировку кернового материала до лаборатории.

3. Сокращения лабораторно-аналитических работ.

4. Сокращения затрат на захоронение кернового материала.

5. Повышения достоверности подсчета запасов урана на гидрогенных месторождениях по промышленным категориям и, следовательно, сокращения доли геологического риска на стадии разработки ТЭО и проекта добывающего предприятия.

Определение геофизических свойств урановых руд, путем регистрации одновременно излучения нейтронов деления мгновенных и тепловых нейтронов, позволяет выделять в границах рудного тела и рудовмещающих отложений интервалы с различной пористостью, глинистостью и учитывать влияние влажности (пористости) пород на перерасчетный коэффициент и проводить последующее уточненное определение содержания урана в аномальных интервалах скважин. Указанные расстояния между точкой мишени источника быстрых нейтронов и серединами детекторов обеспечивают максимальную чувствительность и достоверность измерений геофизических свойств урановых руд и определены экспериментальным путем.

Приведенные на рисунке 3.2 диаграммы сравнения данных гамма-каротажа (выделена зеленым цветом) и КНД-м (выделена желтым цветом) по скважине месторождения Буденновское наглядно показывает неприемлемость использования для подсчета запасов и контроля за отработкой месторождений урана такого традиционного метода, как гамма-картаж, который требует дополнительных исследований по изучению радиологических условий каждого месторождения, а в отдельных случаях конкретных залежей и даже подсчетных блоков месторождения гидрогенного типа.

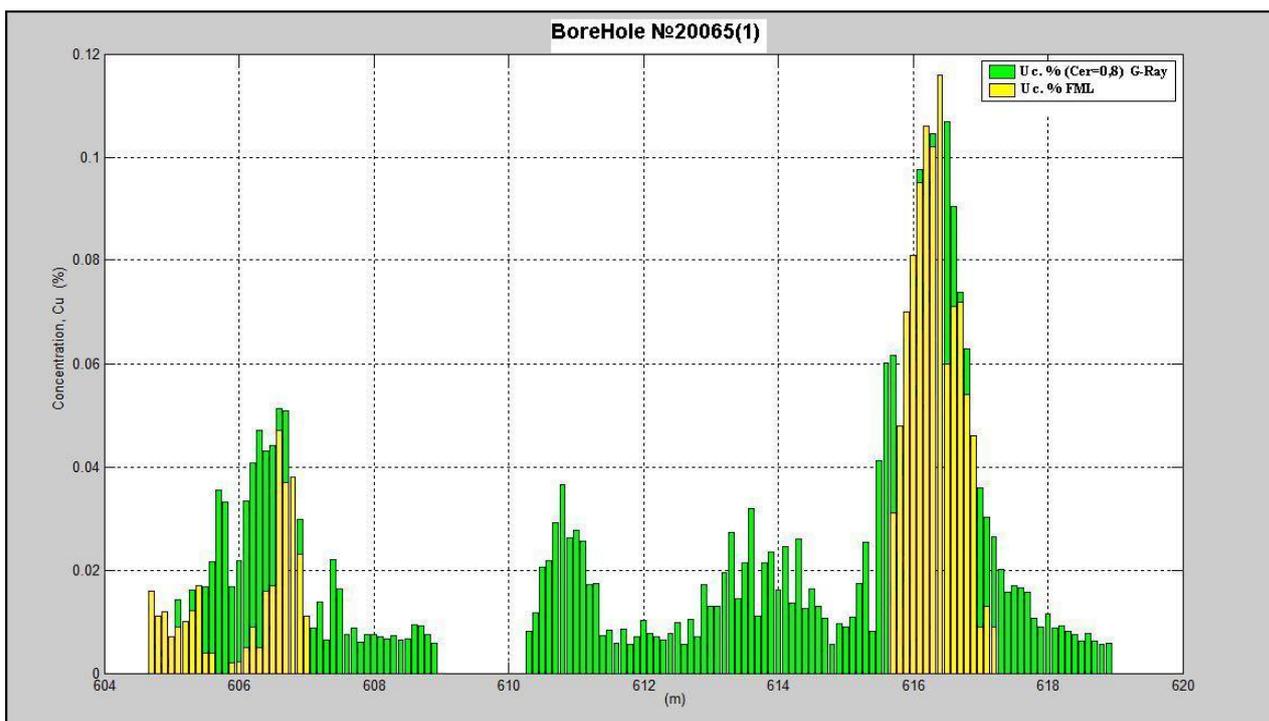


Рисунок 3.2 - Пример сопоставления данных гамма-каротажа и каротажа КНД-м [30, с. 182]

Алгоритм интерпретации данных каротажа скважинного прибора КНД-48 позволяет решать следующие задачи [30]:

- фильтрацию исходных каротажных данных;
- выделение аномальных и фоновых участков, расчет фоновых значений нейтронных сигналов по каналу регистрации нейтронов деления урана;
- определение нейтронных параметров и физических характеристик (пористости) по каждому аномальному интервалу (части интервала) или интервалу записи по рудовмещающим отложениям;
- проведение дифференциальной интерпретации результатов каротажа КНД-м по рудоносной зоне;
- выделение кондиционных по урану интервалов, расчет параметров мощности, линейного запаса, среднего содержания;
- расчленения рудных интервалов и рудовмещающих отложений с расчетом содержания алеврит-глинистой фракции в (%) < 0,05 мм - ($K_{гг}$) в абсолютных значениях.

На рисунке 3.3 приведено сопоставление графиков, построенных по результатам ГК и КНД-м. Измерения проводились в технологической скважине. Графики на рисунке явно указывают на различие природы радиоактивных аномалий, выявленных этими методами. Две аномалии, зафиксированные методом ГК в интервале 668-677,5 м, по данным КНД-м обусловлены только высокими содержаниями радия, содержания урана здесь находятся в пределах фонового уровня. В тоже время, в интервалах 664,5-666,5,

667,9-668,1 и 685-690м по данным КНД-м содержание урана превышает значения, полученные по интерпретации результатов ГК. Это обусловлено радиологией месторождения.

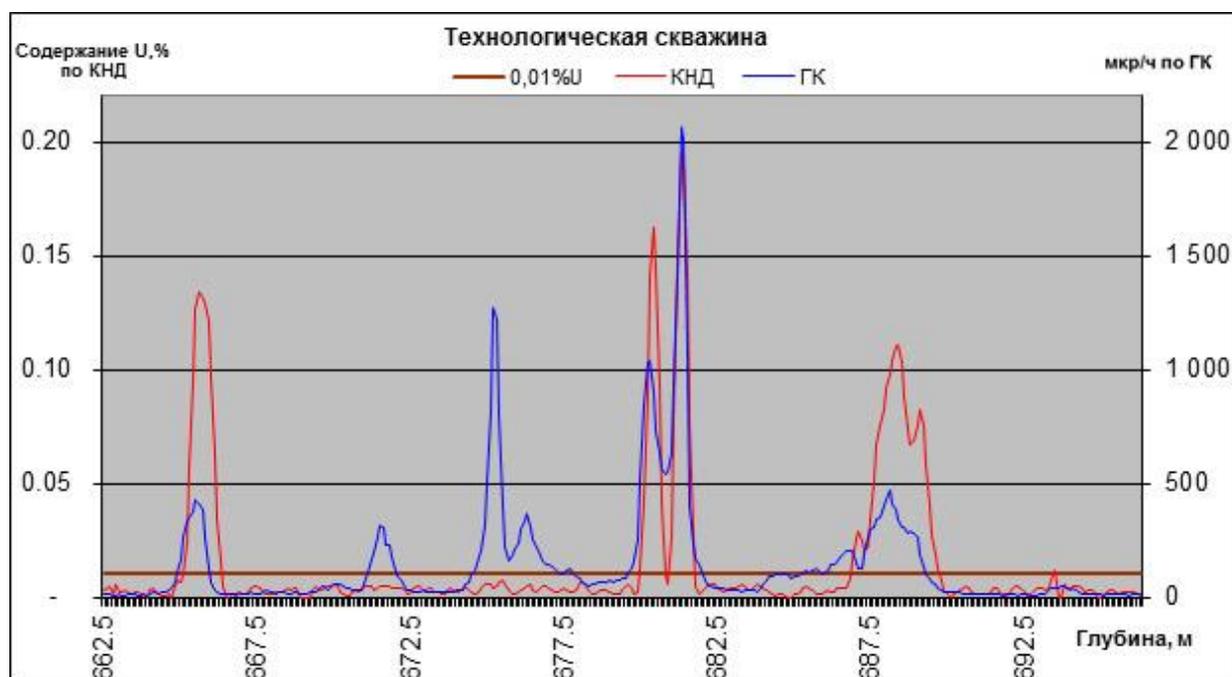


Рисунок 3.3 - Результаты сопоставления данных ГК и КНД-м показывающие различия в ореолах распределения урана и радия в интервале скважины

На рисунке 3.4 изображено устройство каротажа урановых руд в разрезе [30,с. 221].

Устройство содержит разъем 1, головку приборную 2, контргайку 3, гайку накидную 4, кожух охранный 5, шасси 6, конденсатор фильтрующий 7, блок питания 8, платы приема передатчика и управления 9, блок высокого напряжения (+2 кВ) 10, блок высокого напряжения (+400 В) 11, платы усилителей 12, детекторы тепловых нейтронов 13, детекторы нейтронов деления мгновенных 14, переходник 15, блок мониторов 16, генератор нейтронов 17, втулку 18, заглушку 19, колпак 20 и кольцо уплотнительное 21.

Устройство работает следующим образом:

Разъем 1, головка приборная 2, контргайка 3, гайка накидная 4 обеспечивают герметичность кожуха 5. На шасси 6 смонтирована аппаратура электронного модуля, включающее блоки 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17. Втулка 18, заглушка 19, колпак 20 и кольцо уплотнительное 21 обеспечивают герметичность кожуха 5. Сигнал с бортового компьютера поступает через плату приемопередатчика и управления 9 запускает генератор нейтронов 17. Детектор тепловых нейтронов 13 регистрирует изменение поля тепловых нейтронов и через платы усилителей 12 направляет сигнал на плату приема передатчика управления 9. Детектор нейтронов деления мгновенных 14 регистрирует изменение поля нейтронов деления мгновенных и направляет сигнал через

платы усилителей 12 на платы приемопередатчика и управления 9. С плат приемопередатчика и управления 9 сигнал направляется на бортовой компьютер. Блоки высокого напряжения 10 и 11 обеспечивают работу аппаратуры электронного модуля [31].

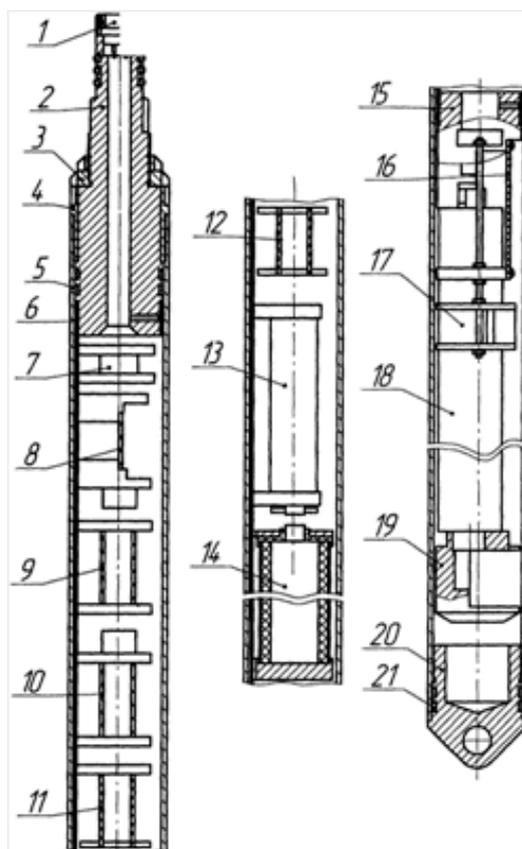


Рисунок 3.4 - Устройство каротажа урановых руд в разрезе

В новых опытных приборах КНД-53 и КНД-60 учтены предложения по усовершенствованию блоков аппаратуры (блок детектирования КНД-м, блок монитора) по данным, полученным в процессе полевых испытаний опытного прибора КНД-48. Новые блоки монитора в приборах КНД-53 и КНД-60 снизили относительную погрешность определения потока нейтронов генератора с $\pm 15\%$ до ($\pm 5\%$ КНД-53, $\pm 3\%$ КНД-60); соответственно с меньшей погрешностью определяются сигналы блока детектирования КНД-м по обоим типам скважинных приборов. Были существенно переработаны схема и конструкция блока питания детекторов КНД-м и ИНК-Т, блока телеметрии, что позволило уменьшить габаритные размеры по скважинному прибору КНД-53 до 2900 мм. В скважинный прибор КНД-60 в заданных прежних габаритах реализован канал ИНК-Т на счетчике тепловых нейтронов СНМ-18 [32].

В работе Демехова Ю.В. со скважинным прибором КНД-48 приведены следующие выводы [30, с. 199]:

1. Опытный скважинный прибор КНД-48 с регистратором «Гектор» может быть использован при определении содержания массовой доли урана по рудной зоне скважин эксплуатационной разведки, наблюдательных скважин с различной конструкцией обсадной колонны и фильтра (ПНД 110-18, ПНД 160-18, КДФ-120, КДФ-98) на технологических блоках ПСВ.

2. Разработана математическая модель скважинного прибора КНД-48 и на ее основе создано программно – методическое обеспечение регистрации и интерпретация данных каротажа опытного скважинного прибора КНД-48 в системе научных и инженерных расчетов Matlab 6.1.

3. Определяемые по каротажу КНД-48 по пластам рудовмещающих отложений значения пористости и глинистости (содержание в % фракции < 0,05 мм) могут быть использованы при геотехнологических расчетах по технологическим блокам и в новых программах определения свойств коллекторов по рудовмещающему горизонту по данным комплекса каротажа ГИС.

4. Целесообразно с учетом вышеизложенного продолжить опытно-конструкторские и методические работы в целях совершенствования аппаратуры КНД-48 на основе последних технических разработок в следующих направлениях:

а) конструктивное уменьшение длины зонда по каналу КНД-м и использование более эффективного по регистрации счетчика мгновенных нейтронов деления (МНД) примерно увеличит интегральный сигнал по каналу КНД-м примерно в 3 раза, что существенно улучшит метрологические характеристики скважинного прибора КНД-48;

б) изготовление новой конструкции блока мониторов;

в) разработка на новой элементной базе блока телеметрического обмена информацией скважинный прибор – регистратор со значительным уменьшением габаритов блока телеметрии и соответственно длины всего скважинного прибора;

г) разработка уменьшенного по габаритам нового скважинного блока питания.

3.2.3 Оценка литологических и фильтрационных свойств рудовмещающей среды по данным электрокаротажа.

Существует два способа получения информации о горных породах и их физических свойствах: прямой - изучение керна скважин, извлекаемого в процессе бурения или специальных работ; косвенный – по физическим полям, наблюдаемым с помощью специальных приборов – геофизические исследования скважин (ГИС).

Имея керн, мы можем точно судить о тех или иных физических свойствах пород в точке отбора. При наличии каротажных диаграмм мы можем судить о физическом поле, а по нему определять физические свойства горных пород намного большего объема. Эти виды информации являются взаимодополняющими, т.к. прежде, чем судить о физических свойствах горной

породы по наблюдениям физических полей, необходимо тщательно изучить керн. Экономически нецелесообразно делать 100% отбор керна по всем скважинам, поэтому об этих важнейших параметрах судят по результатам ГИС.

Под интерпретацией данных каротажа подразумевается их геологическое истолкование, например определение литологии пород их физических свойств и т.д. Конечной целью интерпретации является построение литологической и петрофизической моделей, по которой можно представить распределение пород и их физические свойства в пространстве. Для решения этих задач используются различные комплексы методов, зарекомендовавшие себя в тех или иных геологических условиях.

Литологическое расчленение разреза по данным геофизических исследований скважин представляет собой одну из наиболее сложных и, зачастую некорректных задач из-за того, что наблюдаемые поля не связаны напрямую с конкретными типами пород, а зависят преимущественно от распределения их физических свойств. В свою очередь физические свойства пород и их изменчивость определяются условиями процесса осадконакопления, диа-, ката- и эпигенеза [33].

Проницаемость песчаных и гравийных пород, слагающих обычно разрез продуктивных горизонтов, зависит от содержания глинисто-алевритовых частиц и карбонатов, характера их распределения в породе. Если глинистая или карбонатная составляющие присутствуют в виде окатышей, обрывков и др., то они практически не влияют на проницаемость пород. Если же глинисто-алевритовые частицы или карбонаты играют роль цементирующего вещества, то они могут существенно снижать проницаемость песчано-гравийных пород, а по достижении определенных концентраций делать их непроницаемыми. Величины граничных значений глинистости и карбонатности для разделения рудовмещающих отложений по проницаемости уточняются для каждого конкретного месторождения.

Для определения литологических и фильтрационных свойств рудовмещающей среды на урановых месторождениях проводят электрический каротаж. На рисунок 3.5 приведен геоэлектрический разрез по месторождению Инкай. В таблицах 3.4 и 3.5 приведены литологическая характеристика пород и значения ρ_k и $\Delta U_{ПС}$ для основных литотипов этого месторождения. Электрический каротаж - метод исследования горных пород, основанный на регистрации параметров естественных или специально созданных искусственных электрических полей. Основное его назначение – получение информации для построения литологического разреза и оценка фильтрационных свойств пород продуктивного горизонта, что крайне важно для организации отработки месторождения методом ПСВ[27; 22, с.93].

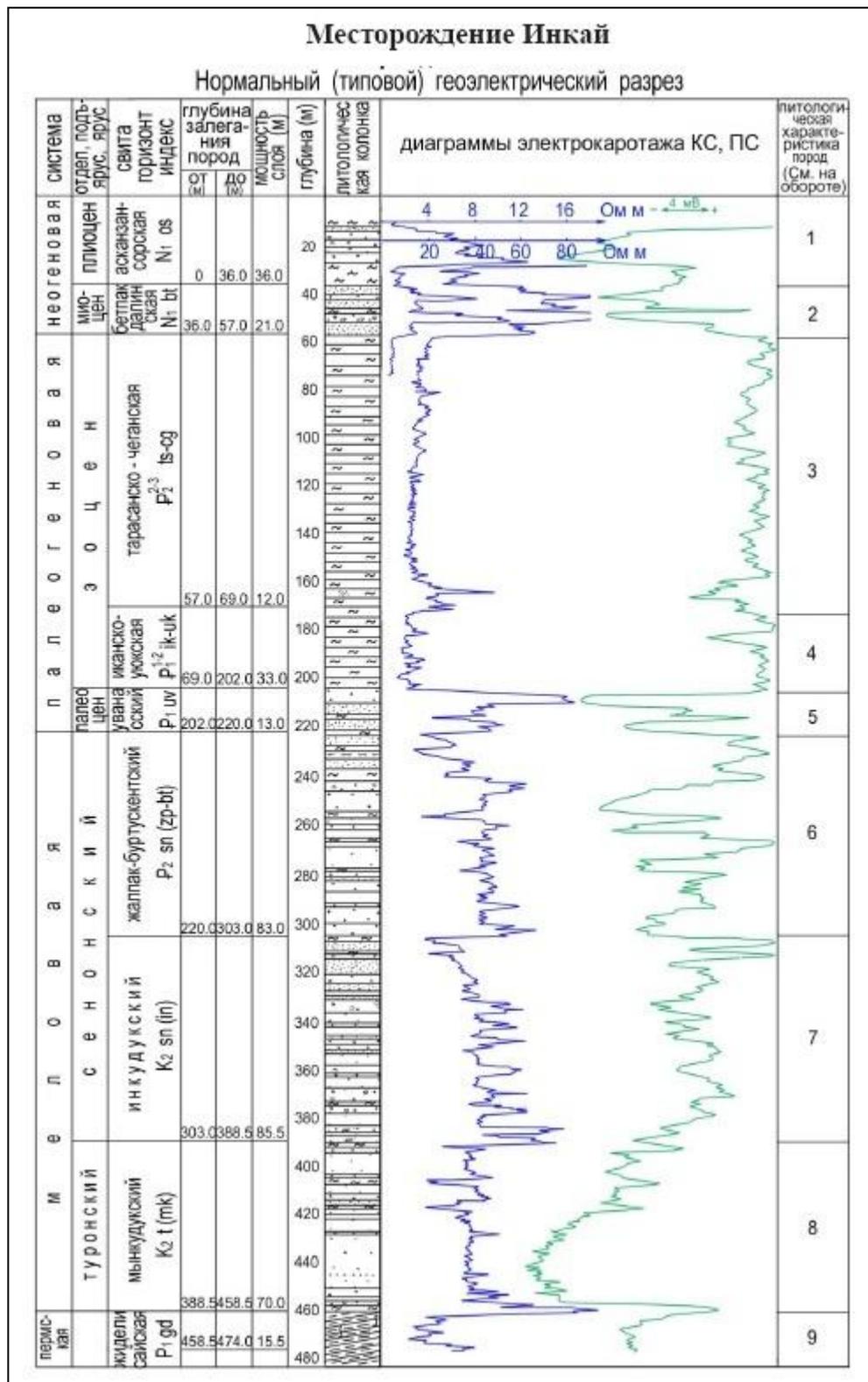


Рисунок 3.5 – Геоэлектрический разрез [90, с. 166]

Стандартный электрический каротаж включает два вида:

- каротаж, основанный на регистрации параметров естественного электрического поля, представляет собой каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС). Измеряемой величиной является

разность электрического потенциала ПС ($\Delta U_{ПС}$); единица измерения - милливольт (мВ);

- каротаж методом «кажущихся сопротивлений» (КС), основанный на регистрации параметров искусственно создаваемого электрического поля.

Измеряемой величиной в методе КС является кажущееся удельное электрическое сопротивление (ρ_k) среды; единица измерения Ом·метр. При обработке месторождений урана выполняется стандартный электрокаротаж подошвенными или кровельными градиент-зондами, длины которых выбраны постоянными для данного района (месторождения) работ.

Таблица 3.4 - Литологическая характеристика пород месторождения Инкай [90, с.167]

№ п/п	Литологическая характеристика пород
1	Асказансорская свита разнозернистый песок с гравием плохой сортировки и окатаности с прослоями среднемелкозернистых песков и карбонатизированных глин
2	Бетпакдалинская свита переслаивание мелкозернистых, среднезернистых, разнозернистых с гравием песков с маломощными прослоями глин
3	Тасаранско-чеганский горизонт прерывисто-слоистые, реже массивные морские глины, нижняя часть горизонта запесочена с включением обломков морской фауны
4	Икано-уюкский горизонт прерывисто-слоистые плотные глины, иногда до опоковидных глин
5	Уванасский горизонт хорошо сортированные средне и мелкозернистые пески с небольшими прослоями глин
6	Жалпакский горизонт представлен в основном среднезернистыми и мелкозернистыми песками с прослоями разнозернистых грубозернистых песков и маломощными линзами глин и алевроитов верхняя часть горизонта, как правило, тонко-мелкозернисты пески, алевроиты и глины со следами карбонатизации
7	Инкудукский горизонт чередование гравийно-галечных отложений, разнозернистых и грубозернистых песков с мелко-среднезернистыми песками и маломощными линзами глин и алевроитов
8	Мынкудукский горизонт переслаивание разнозернистых песков, среднезернистых и мелкозернистых песков с локальными прослоями глин и алевроитов
9	Жиделисайская свита алевроит плотный, в верхней части кора выветривания 5-10 метров

Таблица 3.5 – Сводная таблица значений ρ_k и $\Delta U_{ПС}$ для основных литотипов месторождения Инкай [90, с.174]

Возраст	Наименование горных пород	ρ_k (Ом·м)		$\Delta U_{ПС}$ (мВ)	
		от-до	сред.	от-до	сред.
N ₁	Пески сухие	60-170	120	-7- -10	-8
	Пески обводненный	10-60	35	-1- -7	-5
	Глины извест.	8-25	15	+7-+14	+10
P ₂ ³	Глины (чеганские)	2,5-4	3	0	0
	Песок среднезерн., мелкозернистый	5,5-9	7	-2,5 - -5	-3
K ₂ sn(zp)	Глины, алевр.	4-6	5,5	+3- -5	-3,5
	Песок среднезерн., мелкозернистый	9-13	11,5	-7- -4	-5
	Песок разнозернистый	12-15	14,5	-4- -10	-6
	Гравий песчаный	15-19	17	-2 - -3	-2
	Песчаники	30-90	40	-2- -4	-3
K ₂ t (ik)	Глины	3,5-5	4	-2- +3	-2
	Песок среднезерн., мелкозернистый	8-12	10,5	-3 - -1	-2
	Песок разнозернистый	12-15	13,5	-1 - -0,5	-0,5
	Гравий песчаный	14-18	15,5	-1 - -2	-1
	Песчаники и гравелиты с краб. и кремн. цементом	20-70	30	+2- +3	+2
K ₂ t (mk)	Глины и алевр.	3-5	4	+3 - +4	+3
	Песок среднезерн., мелкозернистый	7-11	9	-1 - -2	-2
	Песок разнозернистый	8-12	11,8	-1- -2	-2
	Гравий песчаный	10-14	13	-2 - -3	-3
	Песчаники и гравелиты с краб. цементом	15-40	20	+2 - -2	+2
P ₁ zd	Глины и алевр.	4-7	5	+1-+12	+10
	Аргиллиты, алевр.	8-12	10	+5- +8	+7

Построение литологического разреза и оценка фильтрационных свойств пород продуктивного горизонта основаны на особенностях поведения

параметров электрических полей – естественной поляризации (ПС) и кажущегося сопротивления (КС) в различных литологических типах горных пород. Изучение этих особенностей является предметом опытно-методических работ, которые призваны доказать целесообразность использования электрокаротажа на данном месторождении для выделения в продуктивном горизонте проницаемых интервалов и для оценки их фильтрационных свойств, а также выбрать наиболее благоприятные условия его проведения

Назначение опытно-методических работ – изучение связей между электрическими и литолого-фильтрационными параметрами пород продуктивных горизонтов. Проводят эти работы на стадиях поисковых и поисково-оценочных работ, а завершают на стадии предварительной разведки месторождения.

В скважинах, заполненных промывочной жидкостью на непроводящей основе, а также обсаженных полиэтиленовыми, поливинилхлоридными (ПВХ) непроводящими трубами, электрокартаж с целью литолого-стратиграфического расчленения разреза скважин не выполняется.

Для послойной оценки фильтрационных свойств пород и руд применяются оба названных вида геофизических каротажных исследований, т.е. метод потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) и стандартный метод кажущегося сопротивления (КС).

Для проведения электрокаротажа используют, как правило, аппаратуру комплексного каротажа со скважинным прибором, обеспечивающим одновременное измерение параметров поля гамма-излучения и электрических полей.

Интерпретация результатов каротажа будет наиболее представительной, если в продуктивном горизонте имеется, по крайней мере, один (желательно глинистый) опорный пласт, который прослеживается по всему месторождению (участку) и отчетливо выделяется по данным электрокаротажа, а также когда продуктивный горизонт представлен чередованием проницаемых, слабопроницаемых и непроницаемых пород.

Обработку результатов измерений проводят в следующей последовательности:

- первичная обработка результатов электрокаротажа;
- разбиение продуктивного горизонта на интервалы в зависимости от их принадлежности к определенным литологическим типам пород;

Физические основы определения литолого-фильтрационных свойств пород продуктивного горизонта базируются на следующих позициях [26, с.61]:

1) Анализ гранулометрического состава проб пород продуктивных горизонтов месторождений песчаникового типа показывает, что распределение размеров частиц (а, следовательно, и масс) хорошо аппроксимируется логарифмически нормальным законом, а для характеристики пород продуктивных горизонтов целесообразно выделять следующие литологические типы, каждый из которых характеризуется определенным диапазоном фракций частиц:

- глинисто-алевритистый – частицы диаметром менее 0,05 мм,
- тонкозернистый песок – частицы диаметром от 0,05 до 0,1 мм,
- мелкозернистый песок – частицы диаметром от 0,1 до 0,25 мм,
- среднезернистый песок – частицы диаметром от 0,25 до 0,5 мм,
- крупнозернистый песок – частицы диаметром от 0,5 до 1,0 мм,
- гравий – частицы диаметром более 1,0 мм.

Если массовая доля глинисто-алевритистых частиц превышает 50%, то порода идентифицируется как глина; песок подразделяют на тонко-, мелко-, средне- и крупно зернистый – в зависимости от того, какая из фракций превысит по массовой доле 50%; если массовая доля гравийных частиц превысит 50%, то порода идентифицируется как гравий. Если же массовая доля ни одной из фракций не превысит 50%, то породу идентифицируют по фракциям, сумма массовых долей частиц, у которых превысит 50%. Например, если сумма массовых долей мелко- и среднезернистых фракций превышает 50%, то породу идентифицируют как мелко-среднезернистый песок и т.д. Если же сумма массовых долей трех и более песчаных фракций превышает 50%, то породу идентифицируют как разнозернистый песок.

2) Породы продуктивного горизонта месторождений песчаникового типа удовлетворяют следующей физико-геологической модели:

- породы, слагающие продуктивный горизонт, представлены осадочными терригенными отложениями;
- каждая литологическая разность состоит из песчаного скелета (кварц, полевой шпат), поровое пространство которого заполнено частицами глинисто-алевритистой фракции (размер частиц менее 0,05 мм) и водой;
- минерализация воды, заполняющей свободные поры, от 0,5 до 6 г/л.

3) Определение параметров, характеризующих литологические и фильтрационные свойства пород продуктивного горизонта, основано на статистической связи этих параметров с электрическими параметрами, которая является следствием корреляционной связи между глинистостью и проницаемостью пород, и которую получают в результате статистической обработки данных, полученных в результате специальных опытно-методических работ. Следует только иметь в виду, что в отдельных случаях поровое пространство может быть заполнено карбонатными минералами с высокими электрическими сопротивлениями (кальцит, доломит), что также приводит к снижению проницаемости и вызывает изменение электрических свойств.

Оценка фильтрационных свойств пород. Оценка фильтрационных свойств горных пород проводится по общепринятой методике, разработанной в 70-80-е годы группой сотрудников ВНИИХТа, г. Москва (Воробьев Б.В., Гордиенко О.Е.) и ГРЭ-27 "Волковгеология" (Хасанов Э.Г.).

Тогда же была разработана методика расчета значений K_{ϕ} (Хасанов Э.Г.) с использованием результатов электрокаротажа методом кажущихся сопротивлений.

Суть методики кратко заключается в следующем:

1. Используя общеизвестные, графические приемы интерпретации в пределах рудовмещающего горизонта определяются геоэлектрические границы литологических неоднородностей пород и средние, либо оптимальные значения ρ_k в пределах выделенных границ.

2. Для избавления от технических погрешностей, определенных в соответствии с п.1 средние значения ρ_k нормируются на величину ρ_k опорного геоэлектрического горизонта.

3. Изучается зависимость ρ_k от гранулометрического состава (D_{50}).

4. По результатам опытных откачек гидрогеологических скважин изучается зависимость коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) от медианного диаметра D_{50} .

5. Выводится итоговая зависимость K_{ϕ} от ρ_k .

На исследуемом месторождении [9], для приведения измеренных значений кажущегося сопротивления в различных скважинах к единому уровню, проведено нормирование измеренных значений ρ_k в каждой скважине на среднее значение кажущегося сопротивления отложений инкудукского горизонта, представленных в значительной мере среднезернистыми и разномерными песками. При этом участки глин большой мощности в интервалы нормирования не включались. Далее в расчетах использовались нормированные значения ρ_k .

При изучении зависимости ρ_k от гранулометрического состава, наиболее тесная связь выявлена с медианным диаметром D_{50} . Зависимость ρ_k от D_{50} представлена на рисунке 3.6. Данные для построения графика приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Результаты обработки гранулометрических анализов проб и значений кажущегося сопротивления (ρ_k)

Наименование пород по значению D_{50}	Статистические параметры		
	D_{50} мм	ρ_k , Омм	$S\rho_k$
Гравийно-галечные	1,02	17,71	0,27
Разномерные пески, разномерные пески с гравием	0,58	15,43	0,08
Среднезернистые пески	0,30	12,15	0,09
Мелкозернистые пески	0,17	10,15	0,09
Алевриты, глины,	0,03	5,87	0,17

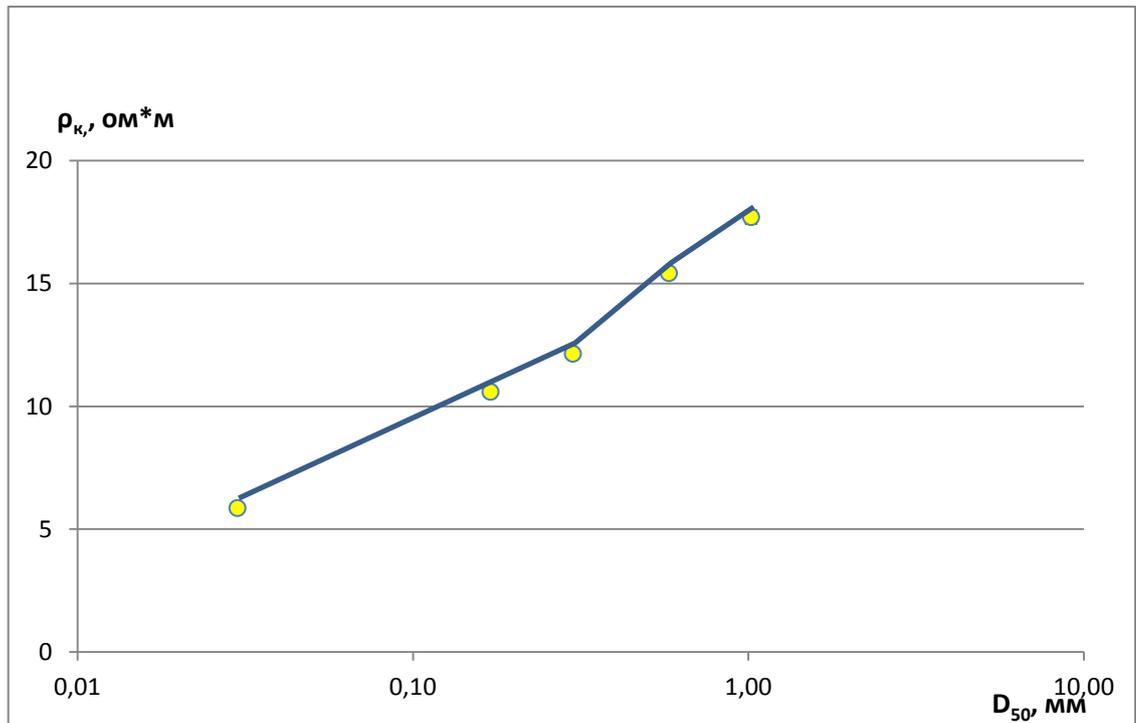


Рисунок 3.6 – График зависимости кажущегося удельного сопротивления ρ_k и медианного диаметра D_{50} [9]

По результатам опытных откачек гидрогеологических скважин, результатам интерпретации диаграмм дебитометрии и лабораторным работам была установлена зависимость коэффициента фильтрации (K_f) от медианного диаметра D_{50} . Результаты этих исследований представлены в таблице 3.7 и на рисунке 3.7.

Таблица 3.7 - Результаты обработки послойных коэффициентов фильтрации

Наименование пород по значению D_{50}	Статистические параметры		
	D_{50} мм	K_f м/сут	S_{K_f}
Гравийно-галечные	1,02	15,11	0,14
Разнозернистые пески, разнозернистые пески с галькой	0,58	11,49	0,04
Среднезернистые пески	0,30	8,49	0,03
Мелкозернистые пески	0,17	6,33	0,02
Алевриты, глины	0,03	0,68	0,03

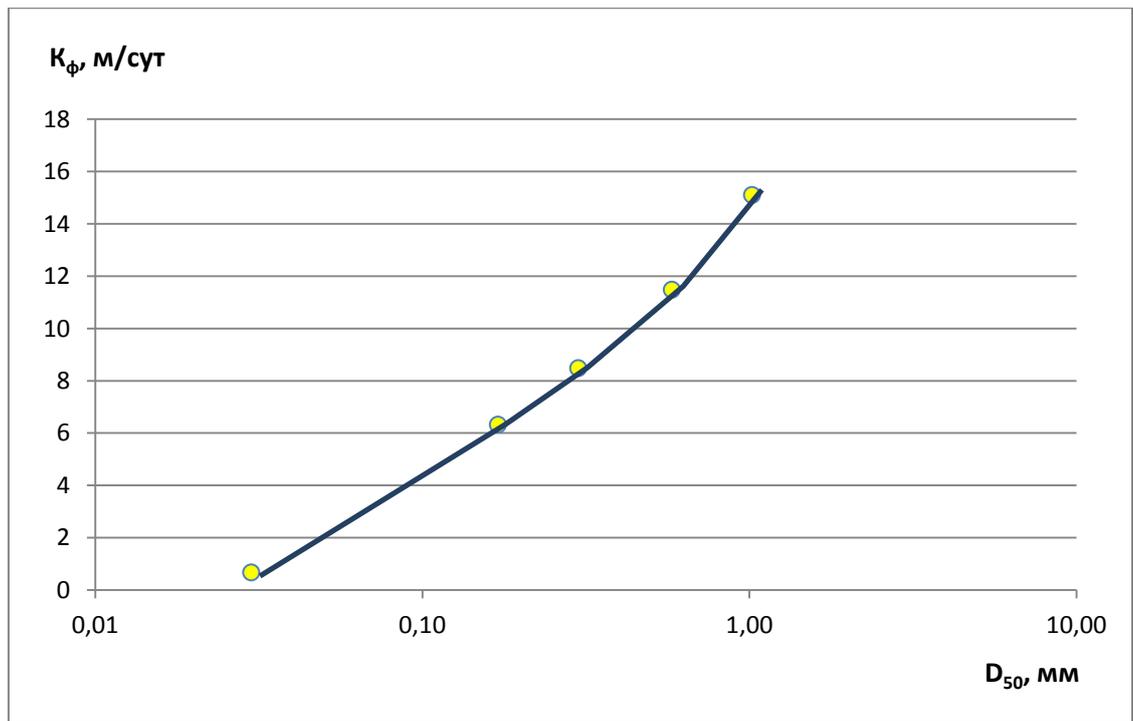


Рисунок 3.7 – График зависимости коэффициента фильтрации K_{ϕ} и медианного диаметра D_{50} [9]

На рисунке 3.8 и в таблице 3.8 приведены график и таблица значений коэффициента фильтрации от значений кажущегося сопротивления пласта.

Таблица 3.8 - Таблица зависимости значений коэффициента фильтрации от кажущегося сопротивления пород

Значение кажущегося сопротивления (ρ_k), Ом·м	Значение коэффициента фильтрации (K_{ϕ}), м/сут
5,87	0,68
6,20	1,00
10,60	6,33
12,15	8,49
15,43	11,49
17,71	15,11

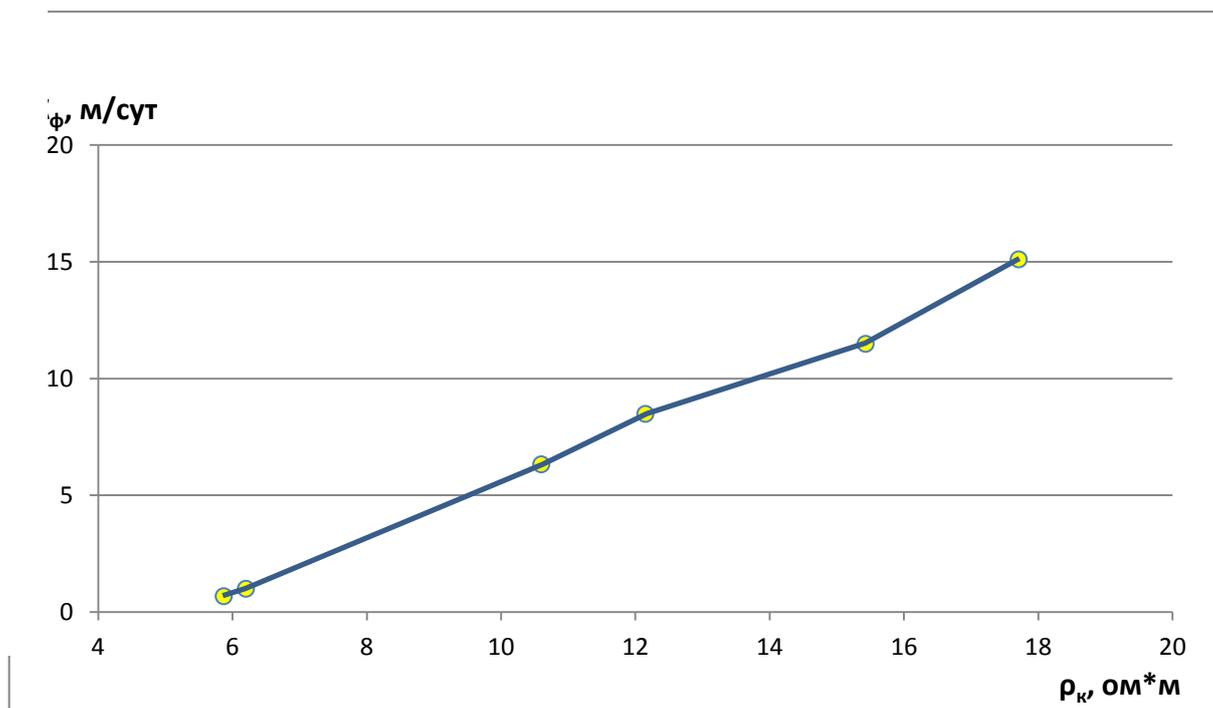


Рисунок 3.8 – График зависимости коэффициента фильтрации K_f от кажущегося сопротивления ρ_k

3.3 Методы ГИС применяемые для изучения технического состояния скважин

Для контроля технического состояния скважин проводят следующие виды исследований [24]:

Инклинометрия - это измерения зенитного угла и азимута скважины в зависимости от её глубины, с целью определения траектории ствола скважины.

Единица измерения - градус. Измерения выполняются магнитными инклинометрами при подъеме скважинного прибора в необсаженных скважинах или в скважинах с обсадкой из немагнитных материалов. Шаг измерения - кратный 10 м. Как правило, равен 20 м.

Требования к методическому обеспечению сводятся к обеспечению наличия программ расчета координат точек пересечения ствола скважины с кровлей (подошвой) рудовмещающего горизонта.

Пространственное положение любой точки ствола скважины характеризуется двумя углами: углом искривления (кривизны скважины) — отклонением оси скважины от вертикали и дирекционным углом — углом между горизонтальной проекцией элемента оси скважины, взятой в направлении увеличения глубины скважины, и географическим меридианом.

Обычно вместо дирекционного угла пользуются магнитным азимутом, т. е. углом, отсчитываемым по ходу часовой стрелки между направлением на магнитный север и горизонтальной проекцией элемента оси скважины.

Определение искривления скважины сводится к замерам положения в пространстве оси скважины, следующим один за другим. Причем в пределах

каждого отрезка ось скважины отождествляют с прямой линией. Измерения в скважинах выполняют по точкам.

Особенно большое значение инклинометрические измерения приобретают при бурении специальных скважин, предназначенных для геотехнологического опробования на месте залегания, поскольку при таких исследованиях задаваемое расстояние между закачной и откачной скважинами сопоставимо с величиной возможного отклонения их забоев от вертикали.

Кавернометрия. В процессе бурения скважины ее диаметр не остается постоянным; он изменяется с глубиной и во времени. Диаметр скважины может быть номинальным, т. е. соответствовать диаметру долота, быть больше или меньше номинального. Изменения диаметра определяются литолого-петрографическими свойствами горных пород и зависят также от технологии бурения.

Измерение фактического диаметра скважины называют кавернометрией и выполняют специальными приборами - каверномерами. Каверномеры обеспечивают непрерывную запись усредненного диаметра по глубине, называемую кавернограммой. Измерения проводят непрерывно по стволу скважины, также они могут быть выполнены по отдельным точкам.

Токовый каротаж – вид исследований, основанный на измерении силы тока в цепи между двумя электродами, один из которых «А» движется по стволу скважины, а второй «В» расположен на поверхности земли. Измеряемая величина – сила тока (мА).

Метод применяется для определения мест нарушения гидроизоляции обсадной колонны в случае использования для этих целей труб, изготовленных из непроводящего материала (полиэтилен, ПВХ и т.д.). Места нарушения гидроизоляции во всех случаях соответствуют местам нарушения электроизоляции, фиксируемым по данным токового каротажа, четко выраженным аномальным увеличениям силы тока в цепи АВ в интервалах нарушения целостности обсадных труб. Метод относится к качественным, индикаторным.

Термометрия. Термометрию проводят для определения интервала цементного кольца в затрубном пространстве. Принцип работы метода заключается в изучении естественных и искусственных тепловых полей в скважине в установившемся и неустойчивом режимах. Измеряемая величина – температура (разность температур) в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$).

Метрологическое обеспечение – периодические калибровки, выполняемые в баках с водой, имеющей различные температуры, устанавливаемые с помощью образцовых ртутных термометров.

Расходомерия – прямой метод послойного определения фильтрационных свойств пород и руд, основанный на измерении скорости потока (расхода) жидкости по стволу скважины. Перемещение жидкости по стволу скважины вызывает вращение крыльчатки расходомера со скоростью вращения, пропорциональной скорости потока. Измеряемая величина – обороты в минуту (об/мин). Расчетная величина – расход жидкости по стволу скважины в ($\text{м}^3/\text{час}$).

Расход осевого потока воды, измеряемый с помощью глубинного расходомера в фиксированных точках по стволу скважины в режимах фонтанирования, налива или откачки, изменяется лишь в интервалах проницаемых пород, а в пределах водоупоров остается постоянным. Вследствие этого расходометрические графики (расходограммы), построенные по результатам замеров расхода осевого потока воды в опытной скважине, оборудованной фильтрами, содержат важную информацию. О глубине залегания, мощности, структуре и гидродинамических параметрах проницаемых горизонтов и пластов.

4 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУД И ПОРОД РУДОВМЕЩАЮЩЕГО ГОРИЗОНТА

4.1 Теоретические предпосылки использования метода индукционного каротажа при отработке урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа

В ходе отработки урановых месторождений способом сернокислотного выщелачивания возникает необходимость применения более информативных геофизических методов для осуществления мониторинга процессов, происходящих во вмещающей среде и собственно в рудном теле под воздействием кислоты, т.е. комплекс методов традиционно и надо отметить, обоснованно сформировавшийся на стадии геологоразведочных работ на урановых месторождениях, плавно перенесен на стадию отработки этих же месторождений. Но, к сожалению, он не решает задачи контроля геотехнологических процессов ПСВ [52].

В этой главе мы рассмотрим возможности индукционного каротажа (ИК), который решает задачи мониторинга отработки урановой руды, а так же позволяет проводить пространственный контроль за растеканием технических растворов в разрезе по стволу скважин, а так же в плане полигонов подземного выщелачивания. Определение с помощью ИК объема прорабатываемых выщелачивающим раствором вмещающих пород необходимо для определения норм расхода серной кислоты на единицу горнорудной массы.

4.1.1 Основы теории метода индукционного каротажа

Одним из характерных физических свойств горных пород, которое широко используется при изучении геологического разреза скважин, является способность горных пород проводить электрический ток. Для изучения таких электрических свойств горных пород, как проводимость и диэлектрическая проницаемость, применяется электромагнитный каротаж, основанный на измерении элементов электромагнитного поля. Из разновидностей электромагнитного каротажа широкое практическое применение находит индукционный каротаж (ИК). Он предназначен для изучения удельной электропроводности (удельного сопротивления) горных пород, пересеченных скважиной [37, с.1;48, с.33].

Измерения при индукционном каротаже производятся с помощью спускаемого в скважину глубинного прибора, состоящего в наиболее простом виде из двух катушек: возбуждающей, питаемой переменным током, и приемной (измерительной), снабженной усилителем и выпрямителем (рисунок 4.1). Электронная схема прибора обеспечивает питание генераторной катушки переменным током частотой до 150 кГц, усиление и преобразование сигнала измерительной катушки. Переменный ток, протекающий по генераторной катушке, создает переменное магнитное поле (прямое или первичное), индуцирующее в окружающих породах вихревые токи. В однородной среде

силовые линии тока представляют собой окружности с центром по оси скважины (если ось глубинного прибора совпадает с осью скважины). Вихревые токи в породах создают вторичное магнитное поле.

Первичное и вторичное переменные магнитные поля индуцируют ЭДС в приемной катушке. Индуцированная первичным полем ЭДС E_1 является помехой и компенсируется введением в цепь приемной катушки равной ей ЭДС и противоположной по фазе. Остающаяся в измерительной цепи ЭДС E_2 , индуцированная вторичным магнитным полем вихревых токов, подается в измерительный преобразователь для усиления и преобразования, после чего по жиле кабеля на поверхность, где записывается регистрирующим прибором.

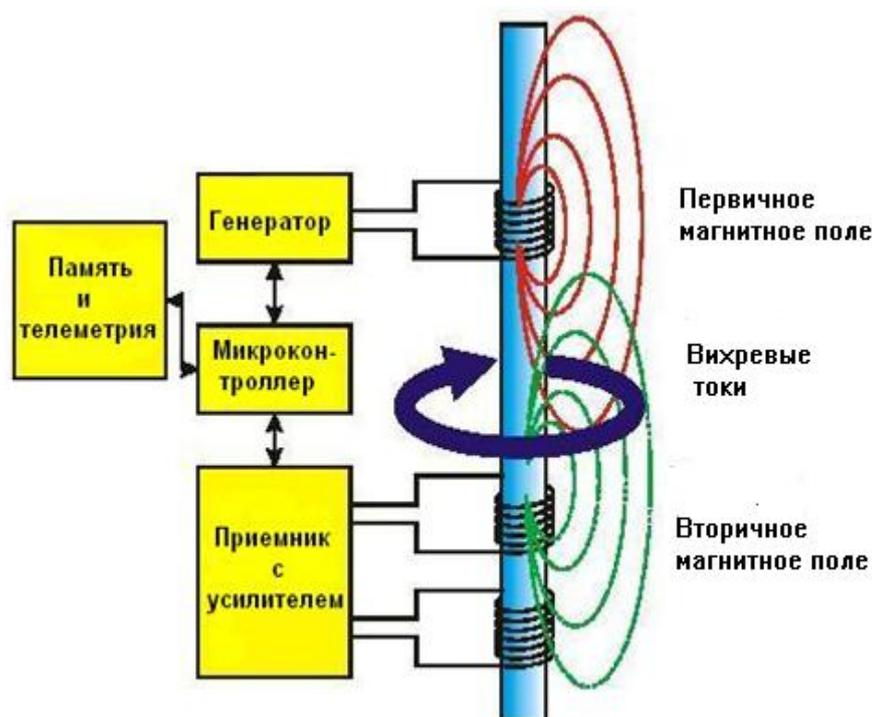


Рисунок 4.1 - Принципиальная схема прибора индукционного каротажа[38]

Амплитуда тока в генераторной катушке в процессе замера поддерживается неизменной, а сила вихревых токов, возникающих окружающей породе, определяется удельной электрической проводимостью (электропроводностью) породы. Соответственно ЭДС E_2 , наведенная вторичным полем в измерительной катушке, в первом приближении пропорциональна электропроводности горных пород γ_p , следовательно, пропорциональна их удельному сопротивлению. Зарегистрированная по стволу скважины кривая характеризует изменение удельной электропроводности породы в разрезе.

На рисунке 4.2 приведена картинка из зарубежных источников показывающая принцип работы двухзондового прибора ИК. Вихревые токи пропорциональны удельной электропроводности пласта, а они в свою очередь

генерируют вторичное магнитное поле, которое индуцирует переменное напряжение в измерительной катушке. Напряжение в измерительной катушке пропорционально проводимости пласта [39, p. 829; 47, p. 23].

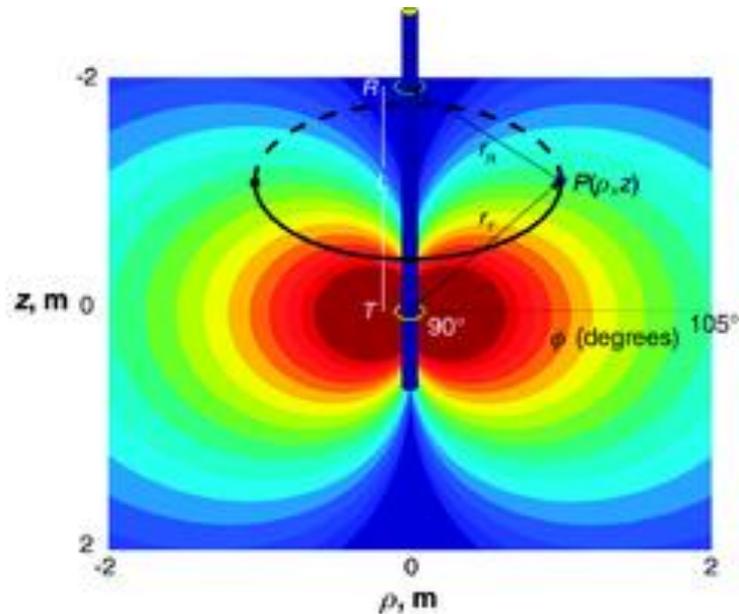


Рисунок 4.2 - Схематическое изображение прибора индукционного каротажа состоящего из двух катушек, показывающее распределение токов

Чем выше электропроводность среды, тем больше величина ЭДС вихревых токов. В свою очередь, магнитное поле вихревых токов индуцирует в приемной катушке скважинного прибора ЭДС, представляющую собой векторную сумму активной составляющей, совпадающей по фазе с током питания генераторной катушки, и реактивной составляющей, сдвинутой на 90^0 относительно питающего тока. С ростом электропроводности среды ЭДС активного сигнала увеличивается медленнее и по более сложному закону. Нарушение пропорциональности между активным сигналом и электропроводностью среды связано со взаимодействием вихревых токов. Это явление называется скин-эффектом. Чем выше частота тока и электропроводность среды, тем значительнее взаимодействие вихревых токов и, следовательно, существеннее влияние скин-эффекта на показания индукционного метода.

В однородной изотропной среде с удельной электропроводностью $\gamma_{п}$, когда частота тока питания и проводимость среды невелики, взаимным влиянием вихревых токов можно пренебречь [49].

$$E_2 = K_3 \cdot \gamma_{п}, \quad (4.1)$$

где K_3 – коэффициент зонда

На практике измеряется не ЭДС E_2 , а пропорциональная ей величина получаемого при индукционном каротаже сигнала:

$$E_c = C \cdot E_2, \quad (4.2)$$

где C – коэффициент пропорциональности.

Далее получаем:

$$\gamma_{\text{п}} = E_2/K_3 = E_2/C \cdot K_3 = E_c/K_c, \quad (4.3)$$

где K_c – коэффициент для перехода от величины сигнала к удельной электропроводности.

Так как среда, окружающая прибор, неоднородна (прослой пород разного сопротивления, промывочная жидкость с сопротивлением, отличающимся от сопротивления окружающей среды, наличие зоны проникновения), то замеренная величина электропроводности характеризует кажущуюся проводимость γ_k аналогично кажущемуся удельному сопротивлению ρ_k . В результате измерений величину сигнала E_c определяют следующим образом:

$$\gamma_k = 1/c_k = E_c/K_c, \quad (4.4)$$

Величина K_c выбирается с таким расчетом, чтобы в однородной среде γ_k соответствовала $\gamma_{\text{п}}$.

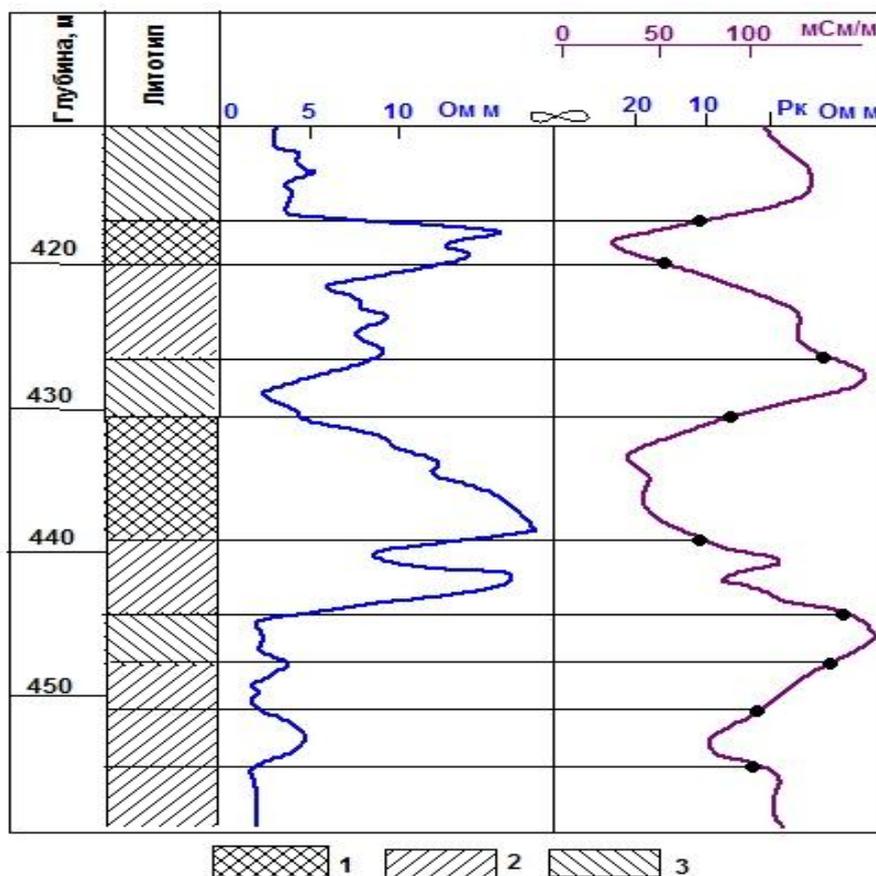
Для получения более точных данных об удельной электрической проводимости пород в зонд ИК, кроме двух главных катушек, включают несколько дополнительных генераторных и измерительных катушек, называемых фокусирующими. Назначение дополнительных катушек – в комплексе с главными уменьшить влияние промывочной жидкости, зоны проникновения и вмещающих пород на величину кажущейся проводимости, а также увеличить глубинность исследования.

Форма кривой и определение границ пластов при ИК зависят от характера токовых линий, образующих вокруг оси скважины замкнутые окружности, располагающиеся в плоскости, перпендикулярной к оси прибора. Влияние скважины на показания ИК в общем случае зависит от d_c , ρ_c и отношения $\rho_{\text{п}}/\rho_c$. В случае высокоминерализованной промывочной жидкости ($\rho_c < 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) и достаточно высокого сопротивления удельных пород ($\rho_{\text{п}}/\rho_c > 20$) влияние скважины становится заметным и учитывается при интерпретации диаграмм ИК с помощью специальных палеток [49].

Влияние зоны проникновения на результаты ИК невелико при повышающем проникновении. Понижающее проникновение оказывает значительное влияние, начиная с проникновения промывочной жидкости на глубину, превышающую три диаметра скважины ($D > 3 d_c$).

Кривая кажущейся удельной проводимости, регистрируемая в ИК, практически линейно отражает изменение проводимости среды. Она

соответствует перевернутой кривой кажущихся сопротивлений в практически гиперболическом масштабе сопротивлений. Благодаря этому, усиливается дифференциация кривой против пород, имеющих низкое удельное сопротивление, и происходит сглаживание ее против пород с высоким удельным сопротивлением (рисунок 4.3) [49, с.84].



Влияние удельного сопротивления: 1 – высокого; 2 – среднего; 3 – низкого, на графики КС и ИК. Точки на кривой ИК соответствуют границам пластов

Рисунок 4.3 - Расчленение разреза по диаграмме индукционного каротажа

Единицей измерения электропроводности является сименс (См, или Ом⁻¹). Удельная электропроводность выражается в См/м и представляет собой электропроводность между двумя противоположными гранями куба породы с ребром 1 м. Сименс – проводимость проводника, имеющего сопротивление в 1 Ом. Пересчет значений удельной электрической проводимости, полученной по результатам измерений, в удельное электрическое сопротивление производится с помощью палетки.

4.1.2 Аппаратурный комплекс

Приборы индукционного каротажа являются достаточно сложными с точки зрения изготовления и настройки. Конструктивно прибор состоит из диэлектрической зондовой части (обычно текстолит), на которой установлены (намотаны) катушки передатчика, приемника и (как правило) фокусирующая катушка. К зондовой части крепится шасси для установки электронных плат генератора и приемника. Зондовая часть с электронными платами устанавливается в герметичный кожух из диэлектрического материала, в верхней части которого имеется зондовая головка. Генератор формирует высокочастотный сигнал и подает его на катушку передатчика, которая и индуцирует электромагнитные импульсы. На приемной катушке возникает сигнал, представляющий собой сумму первичного (от генераторной катушки) и вторичного (прошедшего через околоскважинное пространство) электромагнитных импульсов. Влияние первичного импульса компенсируется либо фокусирующей катушкой, либо иным способом, а вторичный импульс усиливается, детектируется и значение его амплитуды передается по каротажному кабелю в цифровом или импульсном виде. Амплитуда вторичного импульса зависит от проводимости пород в околоскважинном пространстве.

В СНГ и в нашей стране используют несколько типов приборов индукционного каротажа, отличающихся количеством и размерами зондов (под размером зонда прибора индукционного каротажа понимается расстояние между катушками приемника и передатчика). Наибольшее распространение на месторождениях урана, обрабатываемых методом ПСВ, получили однозондовые приборы с рабочей частотой генератора около 150 кГц. Наилучшие результаты дает ИК при исследовании скважин, заполненных слабоминерализованной или плохо проводящей жидкостью. При растворе с сопротивлением менее 0,1 Ом и высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) пород применение ИК ограничено. С помощью ИК достаточно хорошо разделяются породы с УЭС до 50 Ом·м, хуже – с сопротивлением 50-200 Ом·м. Породы более высокого сопротивления ИК практически не разделяются.

Применение ИК эффективно в разрезах, где кривые КС зондов электрического каротажа искажаются вследствие экранирования прослоями высокого УЭС. Преимущество индукционного каротажа перед КС заключается также в возможности исследования электропроводности пород в сухих скважинах и скважинах, обсаженных трубами из непроводящих материалов (полиэтилен, ПВХ и т.п.) [26,с. 100].

Пересчет значений удельной электрической проводимости, полученной по результатам измерений, в удельное электрическое сопротивление производится с помощью палетки.

Технические характеристики используемой аппаратуры

В настоящее время, на урановых рудниках Казахстана для измерения кажущейся УЭП горных пород в скважинах используют прибор ПИК50М.

Запись результатов измерений производится на диск персонального компьютера и может быть распечатана на бумажном носителе.

Прибор ПИК50М состоит из двух составных частей:

1. Непосредственно скважинного прибора (прибор).
2. Тест катушка (ТК).

Прибор может эксплуатироваться в воде, буровых технологических растворах с массовой концентрацией серной кислоты до 25 г/л при температуре от 5°C до 50°C и гидростатическом давлении до 10 МПа. Корпус прибора ПИК50М выполнен из стеклопластика, оголовье, генераторный и приемный экраны и кабельный наконечник выполнены из кислотостойкой нержавеющей стали.

Зонд прибора ПИК50М – трех катушечный, нулевой, тип 3 диаметром 0,6. Скорость перемещения прибора ПИК50М при измерении в скважине равна 700-2000 м/ч.

Прибор предназначен [90, с. 69] для измерения кажущейся УЭП горных пород в скважинах и позволяет проводить измерения в скважинах, обсаженных колонной труб диаметром не менее 60мм, выполненных из непроводящего электрический ток материала. Питание прибора ПИК50М осуществляется от источника тока, установленного в блоке БСК041, сила тока питания в пределах 100...200 мА при напряжении питания 21.0 ± 0.5 В.

Рабочая частота внутреннего генератора, кГц 140 ± 0.2

Прибор выдает информационный сигнал с параметрами:

- максимальная частота сигнала на выходе, Гц 3000;
- нелинейность характеристики ПНЧ, % ± 5 ;
- выходной импульсный сигнал;
- амплитуда, В 8 ± 0.5 ;
- длительность, мкс 20 ± 5 ;
- полярность отрицательная.

Расчетные значения УЭП колец ТК, мСм/м, У1 200 ± 20 , УП 400 ± 40 .

Диапазон измерения кажущейся УЭП 0-2000 мСм/м.

Коэффициент НФП мВ/мСм/м-1 $0,1 \pm 0,015$.

Пределы допускаемой основной погрешности измерения ($\Delta_{осн}$) при температуре окружающей среды (20 ± 5) С, мСм/м $\pm (0,03 Y_{изм} + 5)$.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности Δ_t , вызванной изменением температуры окружающей среды от 5°C до 50°C на каждые 10°C $\pm (0,02 Y_{изм} + 5)$.

Пределы допускаемой нелинейности НФП ± 10 %.

Время установления рабочего режима прибора не более 15 мин.

Время непрерывной работы не менее 8 ч.

Диаметр прибора 50 ± 2 мм.

Длина прибора 1500 ± 5 мм.

Масса прибора не более 6.1 кг.

Благоприятными условиями для индукционного каротажа являются:

низкое сопротивление пород (менее 50 Ом·м) и средне- или слабоминерализованные буровые растворы. Этот метод не чувствителен к изменениям кажущегося сопротивления пласта, когда оно превышает 200 Ом·м.

Геофизическая интерпретация данных индукционного каротажа включает:

- выделение пластов и отчет существенных значений кажущейся удельной электропроводности;

- корректировка полученных значений, путем внесения в них поправок на нелинейность характеристики (влияние скин-эффекта), поправок на влияние электропроводности раствора в скважине, поправки на влияние скважины и поправки на влияние ограниченной мощности пласта и электропроводности вмещающих пород, поправка на влияние металлических деталей оборудования скважин. [90, с.71].

Методика интерпретации и поправки вносимые на полученные значения индукционного каротажа приведены в Технической инструкции по проведению геофизических исследований в скважинах на пластово-инфильтрационных месторождениях урана.

Минимальные требования к методическому обеспечению заключаются в наличии зависимостей, отражающих влияние на показание зонда диаметра скважины и удельного сопротивления промывочной жидкости.

4.1.3 Задачи, решаемые при проведении индукционного каротажа скважин на технологических полигонах.

Когда природные флюиды в рудовмещающих пластах замещаются технологическими растворами, происходят заметные изменения электрических свойств пород, которые регистрируются при исследованиях межскважинного пространства электромагнитными методами. Однако, при кислотном выщелачивании урана, высокая электропроводность растворов кислоты является определяющим фактором, характеризующим сопротивление участков закисленных пород.

На рисунке 4.4 приведен пример определения степени закисления пород на основе данных ИК. Данная скважина расположена недалеко от обрабатываемого блока, потому проникшие из этого блока технологические растворы проявились в электрических свойствах этой скважины.

Так как, после воздействия окислителя происходит изменение геоэлектрической картины в интервале закисления – сопротивление ранее высокоомных проницаемых отложений падает ниже уровня сопротивления непроницаемых глин. На рисунке интервал закисления выделен желтым цветом. В таких случаях, данные стандартного метода КС становятся неинформативными, и интерпретация проводится на основе данных ИК.

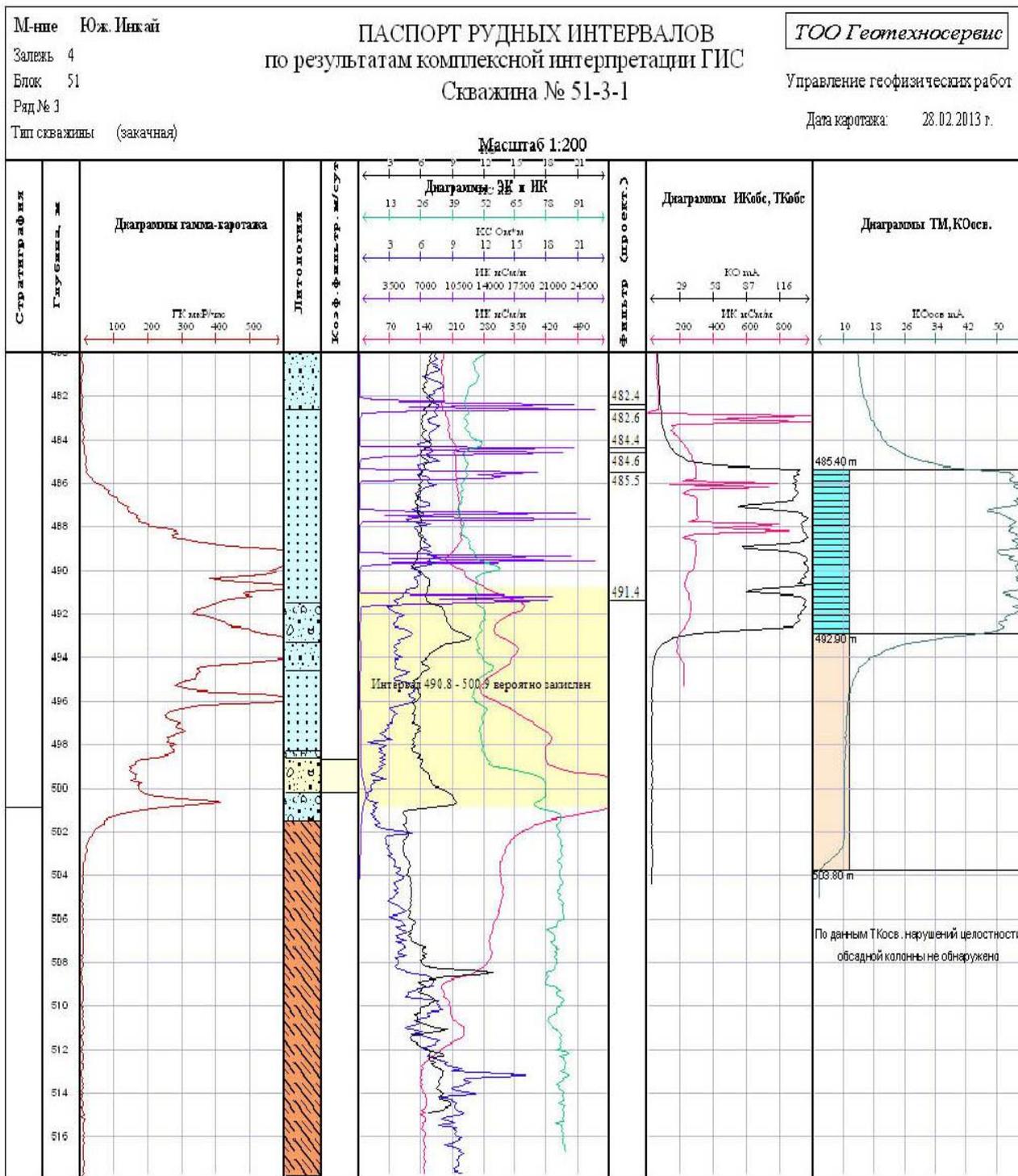


Рисунок 4.4 - Паспорт рудных интервалов сформированный в системе «Альфа»

Существующая скважинная аппаратура обеспечивает осредненный характер, отражает основные морфологические и литологические особенности строения месторождений и позволяют проводить оценку растекания технологических растворов в межскважинном пространстве.

Индукционный каротаж является основным методом при определении мест перетоков технологических растворов из продуктивных в вышележащие

горизонты и при оценке их растекания в процессе ПСВ. Результаты ИК перед закислением являются исходными для последующей интерпретации на стадии закисления и эксплуатации [38,24, с. 185].

4.2 Обоснование необходимости использования данных индукционного каротажа до и после закисления блока

При проведении добычи урана методом ПСВ, как правило, не удается получить достаточно достоверную информацию о строении рудного тела для регулирования технологического процесса с целью максимального извлечения полезного компонента и снижения себестоимости добычи.

Опыт геолого-геофизических работ на урановых месторождения свидетельствует о том, что применяемый комплекс геофизических методов не в полной мере обеспечивает решение некоторых задач при подсчете запасов урана. При расчете эффективной мощности блока ($M_{эфф}$) для случаев, когда фильтры технологических скважин не соприкасаются с водоупорам и применяются различные методы и приемы, результаты которых не всегда достоверны. При расчете эффективной мощности блока используются понятия как «зона растекания растворов вверх» от верхней границы фильтров - 2м вверх. «Зона растекания растворов вниз» от нижней границы фильтров - 6м вниз. То есть считается, что выщелачивающий раствор в продуктивном горизонте опускается и поднимается под зоной активного движения растворов, выше фильтра на 2 метра и опускается ниже фильтра на 6 метров, если нет водоупоров, если водоупор есть, то берется расстояние до водоупора. Но, к сожалению не всегда этот метод определения «зоны растекания растворов вверх» и «зона растекания растворов вниз» работает правильно. Это в свою очередь становится причиной ошибочной оценки эффективной мощности блока.

Кроме того, при сильной литологической неоднородности разреза надежно определить изменчивость фильтрационных свойств и, соответственно, распределение технологических растворов в межскважинном пространстве затруднительно. Преодолеть эти недостатки возможно, если дополнительно проводить индукционный картаж на действующем блоке. На основе сопоставления данных ИК «до и после» закисления мы получим следующие данные: степень закисления блока, эффективную площадь блока, растекание технологических растворов по площади участка и за проникновением раствора выше водоупорного горизонта.

Интерпретация данных ИК полученных после закисления блока на урановых месторождениях позволяет получить новую по качеству информацию о литолого-физических характеристиках пород, их распределении в межскважинном пространстве и, на этой основе, осуществлять оперативный контроль за процессом отработки месторождений.

К тому же процесс закисления продуктивного горизонта осуществляется неравномерно и из наиболее проницаемых зон в первую очередь извлекается полезный компонент, а в слабопроницаемых участках, неохваченных

выщелачиванием остаются неотработанные запасы. Проведение индукционного каротажа на технологическом блоке в период ее отработки позволит получить информацию о степени закисления рудного массива, иными словами определить рудные зоны, не вовлеченные в процесс выщелачивания для регулирования геотехнологического процесса с целью максимального извлечения урановой руды. Так, второстепенной целью работы является определение непроработанных окислителем участков рудного интервала.

К сожалению, на сегодняшний день индукционный каротаж в период отработки проводится не во всех технологических скважинах работающего блока. Это в первую очередь связано с тем, что в период отработки для проведения каротажа необходимо приостановление работ скважин, а в откачных скважинах необходимо извлечение насоса из скважин, все это приводит к небольшой задержке работ полигона. Во-вторых, на проведение метода на геотехнологическом поле не выделяется достаточно средств, и ИК проводится только на 10% от общего количества скважин.

Эти факторы являются главным барьером для проведения ИК на всех скважинах отработываемых блоков.

Однако учитывая, что данные ИК позволят не только наблюдать за движением сернокислых рабочих растворов, а также позволят корректно рассчитать геолого-геотехнологические параметры рудовмещающей среды и дают возможность корректировки процесса добычи с целью охвата рудной залежи полностью, то возникает понимание о целесообразности выделения средств и проведения ИК на работающих скважинах действующих блоков.

Для проверки предлагаемой методики были запланированы и выполнены следующие работы:

- проведен геофизический мониторинг на двух действующих рудниках месторождения урана;
- проведен сбор, систематизация и анализ полученных геофизические данных;
- определены степени закисления исследуемых технологических блоков;
- рассчитаны геотехнологические параметры на основе данных ГИС;
- проведена оценка степени погрешности при расчетах стволовых и блочных запасов и пути устранения (или понижения) погрешности в подсчетах;
- проведен подсчета запасов исследуемых блоков.

Геолого-геофизический мониторинг месторождению Инкай и Харасан

Причиной того, что выбор пал именно на эти два месторождения является то, что данные месторождения расположены на крупнейших Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинциях. Они заключают в себе более 73% разведанных запасов урана в Казахстане. Эти запасы приурочены к зонам пластового окисления в песчаных горизонтах мелового и палеогенового возраста, формирующимся напорными пластовыми кислородосодержащими водами в условиях затрудненного водообмена. В Шу – Сарысуйской депрессии, где расположено месторождение Инкай, эти процессы проявились особенно

масштабно, и привели к формированию трех пространственно разобобщенных региональных зон пластового окисления протяженностью до 250 км. Наиболее продуктивной из них является «Западная зона» пластового окисления, приуроченная к меловым отложениям. Ее составляют уникальные по запасам месторождения Инкай, Буденновское, Мынкудук, образующие почти непрерывную рудоносную полосу протяженностью около 250 км и шириной до 10 км. Мощность рудных залежей в среднем составляет 3,5-7,5 м, иногда достигает 20 м и более, среднее содержания в них урана – 0,035-0,07%. В целом рудные залежи характеризуются высокой продуктивностью, в среднем составляющей 3,0-7,5 кг/м²

В Сырдарьинской провинции расположены месторождения Харасан, Карамурин, Заречное. Информация о геологии исследуемого месторождения Харасан представлены в трудах Берикболова Б.Р. «Месторождения урана Казахстана», так же в книге Петрова Н.Н., Язикова В.Г. «Урановые месторождения Казахстана (экзогенные)». Урановое оруденение на них приурочено к единому кампан-маастрихтскому горизонту высокопроницаемых и проницаемых песчаных и гравийно-песчаных отложений. Зона пластового окисления здесь имеет контрастное зональное строение. Отличительной особенностью урановых руд в данной зоне является повышенное содержание селена в ней, приуроченное к подзоне ураноселенового оруденения, формирующейся между подзоной урановых руд и зоной пластового окисления. Наиболее крупные размеры рудных залежей лентообразной формы -3-4 до 20-30 м при ширине 0,2-1,0 км [58].

Опыт эксплуатации месторождения урана показывает высокий уровень рентабельности их отработки, что явилось серьезным основанием для увеличения добычи урана в этих регионах.

4.3 Примеры расчета геотехнологических параметров на основе данных индукционного каротажа

Выбор оптимальных технологических решений зависит от части геотехнологических параметров.

Для правильного ведения процесса подземного выщелачивания, соблюдения технологического режима, анализа работы полигонов, планирования добычи урана и расхода реагентов необходимо выполнять расчеты следующих геотехнологических параметров: степени извлечения урана, общего и удельного расхода реагента, отношения Ж:Т, среднего содержания урана в продуктивных растворах (ПР), себестоимости 1 кг добытого урана и т.д. [24, с.181].

Рассмотрим существующие способы определения эффективной мощности блока:

1) Количество рабочих растворов W , необходимых для достижения требуемой степени извлечения урана, определяется произведением величины горнорудной массы на соответствующее отношение Ж:Т (f) [50-51]:

$$W = \rho \cdot S \cdot M \cdot f, \quad (4.5)$$

где ρ – объемная масса руды, т/м³;

S – площадь блока, м²;

M – мощность рудовмещающего водоносного горизонта, м.

Отношение Ж:Т (f) – масса (или объем) рабочего раствора, приходящегося на единицу выщелачиваемой горнорудной массы, которая обеспечивает достижение максимальной степени извлечения урана, рассчитывается по формуле [50, с.141]:

$$Ж:Т = \frac{\sum_{i=0}^{i=1} Q_{BP}}{ГРМ}, \quad (4.6)$$

где Q_{BP} – количество поданного в блок выщелачивающего раствора (BP) за время t , (м³)

$ГРМ$ – горнорудная масса, (т)

$$ГРМ = S \cdot \delta \cdot M_{эфф}, \quad (4.7)$$

где S – выщелачиваемая площадь блока, (м²);

$M_{эфф}$ – эффективная мощность рудовмещающего водоносного горизонта, м;

δ – объемная масса рудовмещающих пород и руд (т/м³).

Эффективная мощность рудовмещающего водоносного горизонта ($M_{эфф}$) – часть общей мощности продуктивного водоносного горизонта (включающая рудные тела и вмещающие породы, исключая промежуточные водоупоры), которая прорабатывается технологическими растворами.

2) В работе представлены методы расчета $M_{эфф}$ [88]:

-При мощности рудовмещающего водоносного горизонта до 10 – 15м (в зависимости от длины фильтра) она практически вся участвует в процессе выщелачивания, т.е. мощность водоносного горизонта и эффективная мощность совпадают.

-При мощности рудовмещающего горизонта > 15м и расположении рудного тела ближе к нижнему водоупору, эффективная мощность определяется расстоянием от верха фильтра до кровли нижнего водоупора (подошвы водоносного горизонта) с учетом растекания выше фильтра:

$$M_{эфф} = 1,2l + h, \quad (4.8)$$

где l – длина фильтра, м;

h – расстояние от низа фильтра до нижнего водоупора, м;

1,2 – эмпирический коэффициент.

При мощности рудовмещающего водоносного горизонта до 30-40м и рудном теле значительно меньших размеров, расположенном в верхней или средней части горизонта, расчет эффективной мощности выполняется следующим образом:

$$M_{\text{эфф}} = 1,2l + h_a, \quad (4.9)$$

где h_a - величина активной зоны работы нижней части фильтра (ниже фильтра) рассчитывается по формуле Е.А.Замарина:

$$h_a = H_a - S - l, \quad (4.10)$$

$$H_a = 1,3(S + l), \quad (4.11)$$

где S – понижение уровня при откачке, м;

l – длина фильтра, м;

H_a – активная зона фильтра, м.

При значительной мощности водоносного горизонта и маленькой длине фильтра S (понижение) можно рассчитать по формуле Н.К.Гринского для напорного горизонта:

$$S = \frac{0,366 \cdot Q}{K_{\phi} \cdot l} \lg \frac{1,6 \cdot l}{r}, \quad (4.12)$$

3) В работе Баймурзаева Х.Р. [89] приведена следующая методика определения $M_{\text{эфф}}$:

Во-первых, должно выполняться следующее условие, средняя мощность рудовмещающего горизонта (M):

$$M = l_{\phi o} + M_{\phi в} + M_{\phi н}, \quad (4.13)$$

где $l_{\phi o}$ – действующая длина фильтра с учетом коэффициента открытости;

$M_{\phi в}$ и $M_{\phi н}$ – величины растекания растворов над или под фильтром, м.

$$M_{\text{эфф}} = l_{\phi o} + M_{\phi в} + M_{\phi н}, \quad (4.14)$$

Значение величины растекания продуктивных растворов в разрезе неограниченного по мощности рудовмещающего горизонта определяют согласно выражения:

$$M_p = M_{\phi в} = M_{\phi н} = \frac{K_a \cdot \pi \cdot L}{8}, \quad (4.15)$$

где K_a – коэффициент анизотропии фильтрационных свойств, д. ед.

В условиях ограниченной мощности рудовмещающего горизонта после сравнения значений M_p с $M_{фв}$ и $M_{фн}$ для каждой сопоставляемой пары выбираются наименьшие значения, которые и принимаются в качестве $M_в$ и $M_н$:

$$M_в = \min \left\{ \begin{array}{l} M_p = \frac{K_a \cdot \pi \cdot L}{8} \\ M_{фв} \end{array} \right. , \quad (4.16)$$

$$M_н = \min \left\{ \begin{array}{l} M_p = \frac{K_a \cdot \pi \cdot L}{8} \\ M_{фн} \end{array} \right. , \quad (4.17)$$

Данный аналитический способ расчета возможно является менее трудоемким и оперативным чем графоаналитические и графические способы, но в условиях литологической разности рудовмещающей среды не учитывает некоторые геологические параметры, такие как прослойки глин в рудовмещающей среде, наличие или отсутствие водоупоров и учета влияния соседних скважин.

В условиях большого количества влияющих на процесс подземного выщелачивания параметров, возникает необходимость в их объединении в укрупненные - комплексные параметры с целью упрощения схемы статистической обработки данных процесса ПСВ, естественно, без искажения их физической сущности. Таким образом, некоторые природные и технологические параметры процесса ПСВ объединены в геотехнологические параметры. Поэтому, наиболее «емким» является комплексный параметр - эффективная мощность рудовмещающего горизонта (средняя мощность горизонта, прорабатываемая выщелачивающими растворами). Отметим, что она объединяет в себе следующие параметры: мощность рудовмещающего горизонта, коэффициент анизотропии фильтрационных свойств рудной залежи, ее положение в рудовмещающем горизонте (природные), межскважинные, межрядные расстояния, среднюю длину фильтров и их открытость (технические).

Теперь рассмотрим роль индукционного каротажа при определении эффективной мощности при добыче методом ПСВ.

Для наглядного примера рассмотрим технологическую скважину № 43-3-2 месторождения Инкай (рисунок 4.5).

Для верного определения $M_{эфф}$ целесообразно использовать данные индукционного каротажа до и после закисления блока по наблюдательным, контрольным и технологическим скважинам соседних блоков. Если провести подобные сопоставления на нескольких технологических блоках месторождения, то появляется возможность расчета средней $M_{эфф}$ для определенной рудной залежи месторождения.

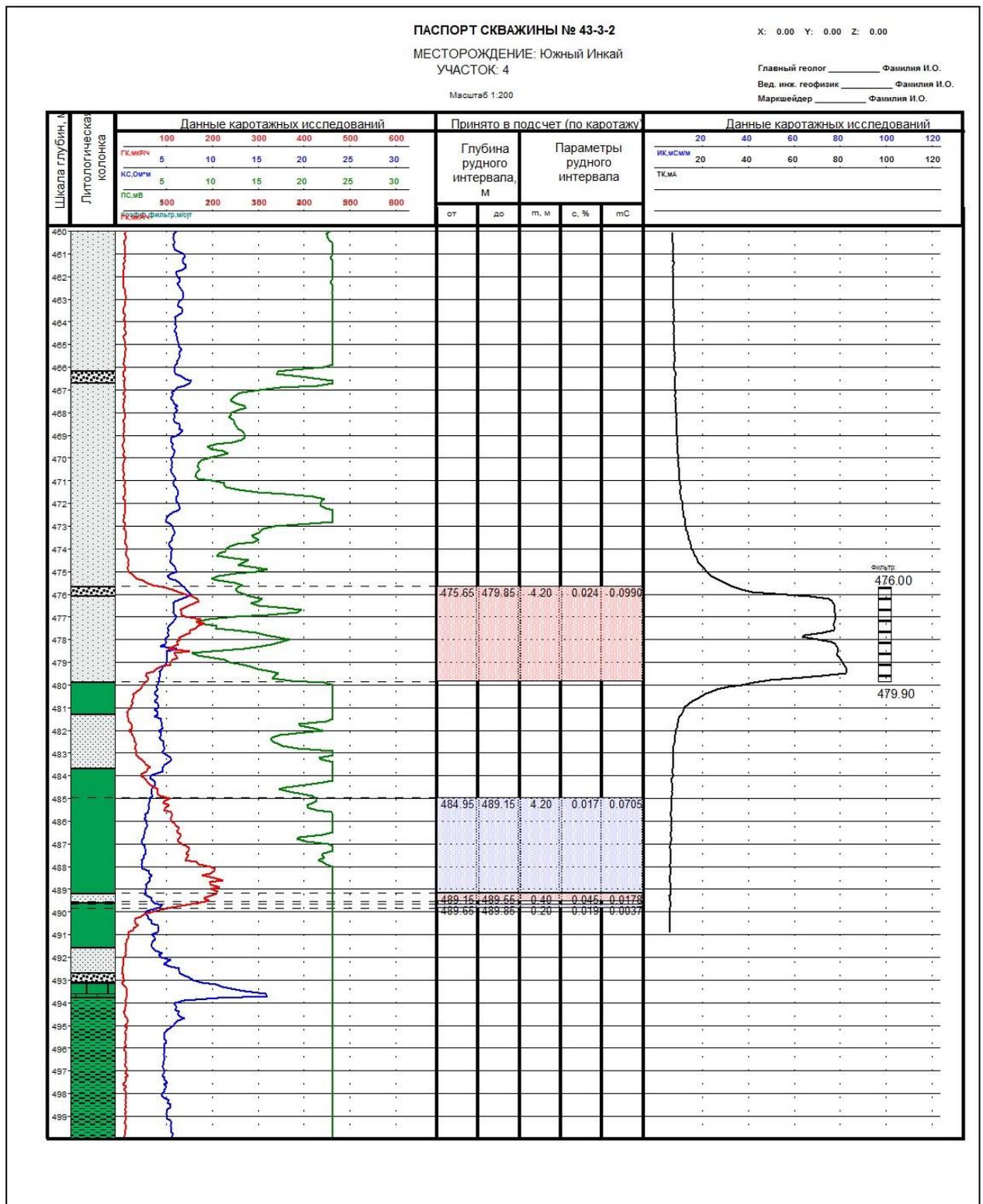


Рисунок 4.5 - Паспорт технологической скважины 43-3-2 месторождения Инкай

Ниже приведены результаты ИК в скважине до и после закисления технологического блока. Согласно диаграмме (синий цвет, рисунок 4.6), которая была получена после закисления блока, мы имеем интервалы растекания технологического раствора: верхняя граница $D_1 = 456,4$ м и нижняя граница $D_2 = 481,0$ м.

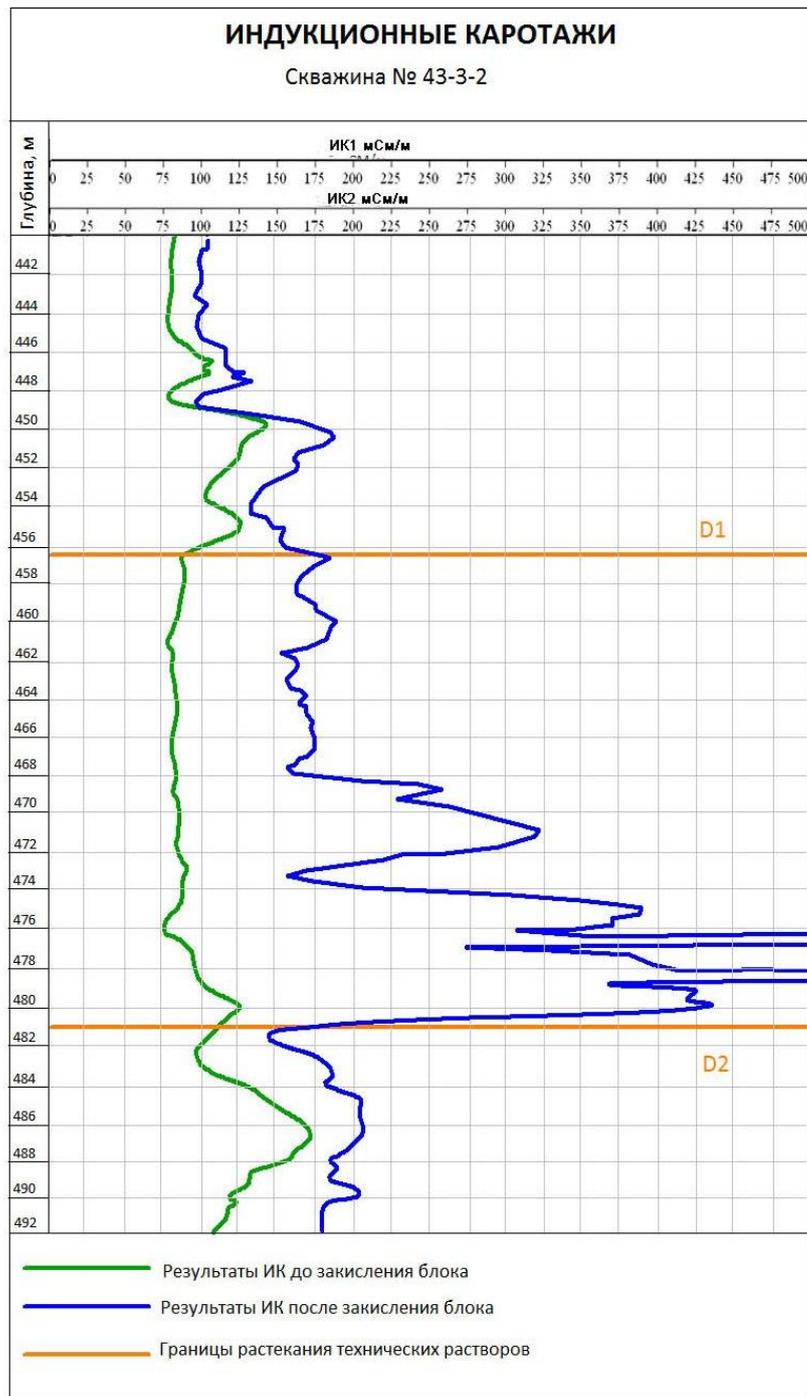


Рисунок 4.6 - Результаты индукционного каротажа до и после закисления технологического блока месторождения Инкай

Имея вышеприведенные данные ИК, мы можем определить истинную $M_{эфф}$ по данной скважине:

$$M_{эфф} = D_2 - D_1 = 481,0 - 456,4 = 24,6 \text{ м.}$$

Если провести аналогичные расчеты по нескольким скважинам технологического блока, то можно определить среднюю эффективную

мощность всего блока, а затем уже выбрать правильную формулу расчета $M_{эфф}$ для всего блока.

4) Следует отметить, что в существующей практике на месторождениях урана используют разные формулы для расчета $M_{эфф}$, не учитывающие данные индукционного каротажа. На руднике Южный Инкай геологи используют следующую формулу:

$$M_{эфф} = 0,2l + l + 0.6l, \quad (4.18)$$

где l – длина фильтра, м.

5) В автоматизированной программе GiK для расчета $M_{эфф}$ заложена следующая формула (при условии отсутствия водоупоров выше и ниже фильтра):

$$M_{эфф} = 2 + l + 6, \quad (4.19)$$

Если по этим формулам мы рассчитаем $M_{эфф}$ вышеприведенной скважины 43-3-2, длина фильтра которой составляет 5,8м, при том, что фильтр посажен на глину (рисунок 4.5), то мы получим следующее:

по формуле 4.18 $M_{эфф} = 6,96$ м.

по формуле 4.19 $M_{эфф} = 7,8$ м.

Полученные значения мощностей значительно отличаются от истинной эффективной мощности данной скважины.

Вышеприведенный расчет $M_{эфф}$ по одной технологической скважине показывает, что выбор методики расчета $M_{эфф}$ необходимо делать с учетом данных индукционного каротажа до и после закисления блока.

Теперь приведем пример использования $M_{эфф}$ при расчете горнорудной массы технологического блока. Проведен расчет среднеблочных параметров оруденения к подсчету запасов по нескольким технологическим блокам месторождения Инкай двумя методами. По первой методике расчет был проведен в формуляре среднеблочных параметров к подсчету запасов блока, который используется по настоящее время на отечественных урановых рудниках. Второй расчет среднеблочных параметров оруденения был выполнен в программе GiK. Как видно из ниже приведенных фактических данных, при подсчете запасов возникают погрешности при определении ГРМ. При проведении подсчетов в формуляре (рисунок 4.7) ГРМ составляет 1051,3т, при подсчете в программе GiK (рисунок 4.8) 1786,53т.

Данное расхождение основано на том, что формулы, заложенные в данной программе GiK и используемые в формуляре геологами различны.

Хочется отметить, что для более достоверного определения эффективной мощности необходимо проводить ИК до и после закисления блока и на основе полученных данных рассчитывать эффективную мощность блока или применять для конкретного блока и месторождения более подходящую формулу расчета $M_{эфф}$.

N/N	Номер профиля	Номер скважины	Рудный интервал		Метропроцент по ЭВМ (м%)	Мощность (м)	Содержание (%)	Метропроцент расчетный (м%)	Распределение РИ по ЛФТ(м)								Непроницаемые			
			от (м)	до(м)					М (I)	МС	М (II)	МС	М (III)	МС	М (IV)	МС	М (V)	МС	Мощность (м)	Метропроцент (м%)
					Горизонт		1_2													
					Залежь		Мынкудукский													
					Блок		16													
86		16-70НВ	490,55	495,95	0,138	5,4	0,026													
			495,95	496,25	0,0175	0,3	0,058													
			496,25	497,35	0,0505	1,1	0,046													
			498,15	498,55	0,0085	0,4	0,021													
			498,95	499,45	0,0104	0,5	0,021													
			499,45	499,5	0,002	0,05	0,041													
		ИТОГО	484,3	499,5	0,2074	7,4	0,028	0,2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,0195
87		16-71НР	490,35	490,85	0,0096	0,5	0,019													
			490,95	491,45	0,0083	0,5	0,017													
			491,55	501,85	0,388	10,3	0,038													
		ИТОГО	487,7	501,9	0,3976	10,8	0,037	0,3996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,0083
88		422	491,95	497,25	0,1614	5,3	0,03													
			497,25	497,3	0,0014	0,05	0,028													
		ИТОГО	484,1	497,3	0,1614	5,3	0,03	0,159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,0014
Суммы						626,55		24,4545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,22	1,924
Средние						8,95	0,039	0,3493	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,0275
		Принятое в подсчет количество скважин и групп сближенных пересечений										58	12							
		количество некондиционных скважин и групп сближенных пересечений										4	1							
		Принятые средние																		
		Мощность	8,95		Содержание	0,039		Метропроцент	0,3493											
		Площадной коэффициент рудоносности		93,33																
		Продуктивность оруденения		5,94																
		Средневзвешенный Кф		0																
		Эффективная мощность блока		13,59																
		Эффективная мощность проницаемых отложений блока		12,9																
		Эффективная мощность продуктивного горизонта		23,1																
		ГРМ (тыс.тонн)		1786,53																
		Запасы металла (тонн)		455,87																

Рисунок 4.8 - Таблица вывода средних подсчетных параметров по блоку в программе GIK по месторождению Инкай

Анализ разработки месторождений урана методом скважинного подземного выщелачивания позволяет выявить главные факторы, определяющие эффективность отработки. В таблице 4.1 приводятся эксплуатационные показатели и соответствующие природные факторы, между которыми существует прямая зависимость.

Таблица 4.1 – Эксплуатационные показатели и природные факторы [50]

Эксплуатационные показатели	Природные факторы
Средняя концентрация урана в продуктивных растворах, мг/л	Отношение линейного запаса металла к эффективной мощности рудовмещающего пласта, мС/м
Производительность по извлекаемому из недр урану, кг/сут	Водопроницаемость руд. Отношение линейного запаса металла к эффективной мощности рудовмещающего пласта, мС/м
Затраты реагента	Содержание главных кислотоёмких минералов.

Известно, что $M_{эфф}$ блока – важный параметр, значение которого определяет ГРМ блока, и соответственно влияет на Ж:Т. А Ж:Т, в свою очередь, определяет объем кислоты, необходимый для отработки блока.

Ввиду того, что расход кислоты относится к основным из составляющих и влияющих на себестоимость урана, возникает важность и необходимость проведения индукционного каротажа до и после закисления блока во всех технологических блоках для правильного определения $M_{эфф}$ и других геотехнологических параметров, что в свою очередь приведет к правильному ведению процесса подземного выщелачивания, соблюдению технологического режима, планированию добычи урана и расчета расхода реагентов.

4.4 Результаты исследований по данным мониторинга работающего технологического блока

В ходе исследования были собраны данные ИК до и после закисления блока по нескольким технологическим блокам рудников месторождения Инкай и Харасан. В первую очередь приведем данные по технологическому блоку №1-1 месторождения Харасан. Для примера был взят закачной ряд 1-1-3, на котором был проведен индукционный каротаж в период отработки блока (рисунок 4.9). По результатам исследований были построены карта интенсивности растекания технических растворов по закачному ряду технологического блока (рисунок 4.10), карта изопахит по растеканию технических растворов (рисунок 4.11) и геоэлектрический разрез по технологическому ряду.

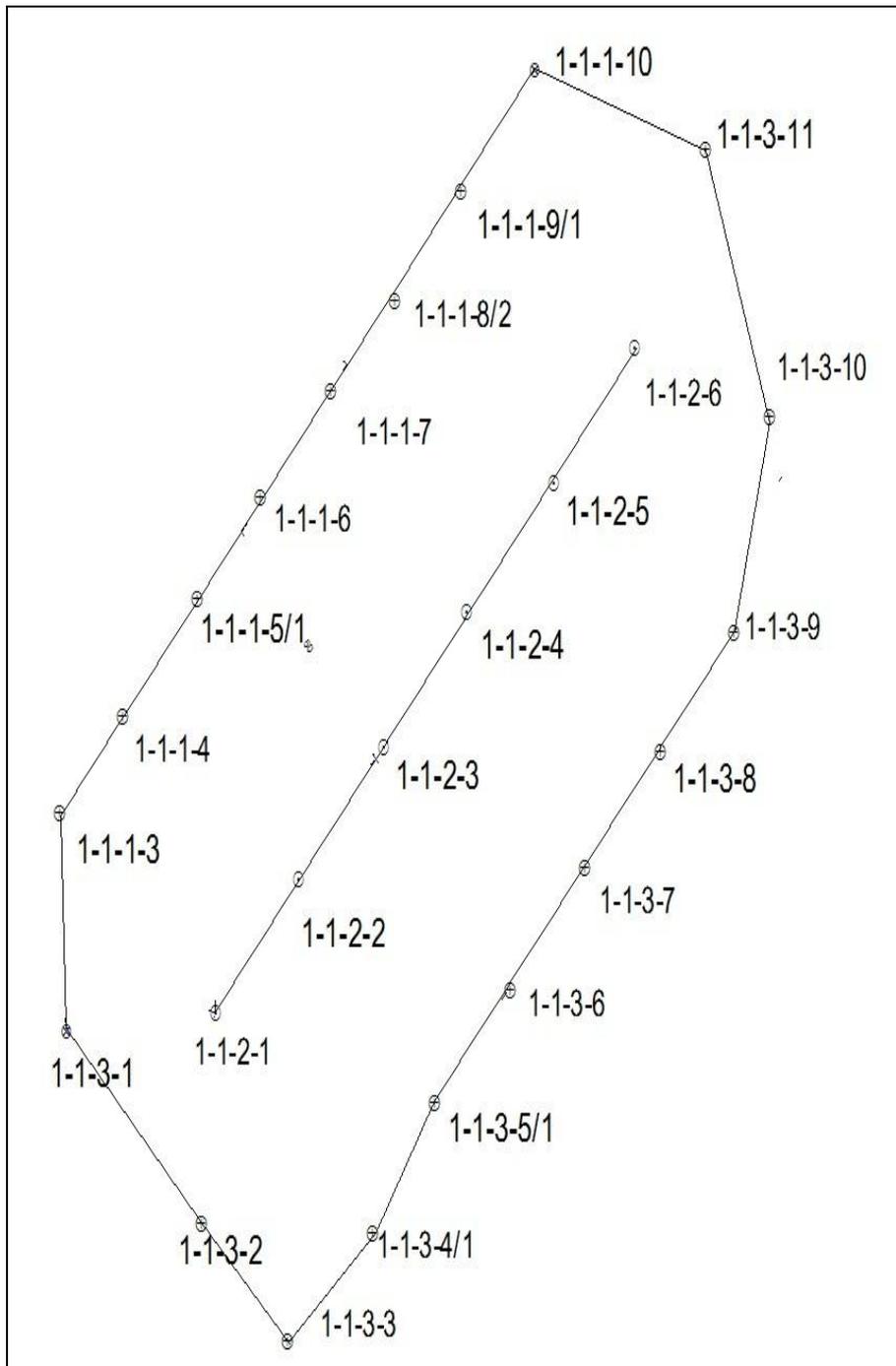


Рисунок 4.9 – Схема технологического блока 1-1 месторождения Харасан

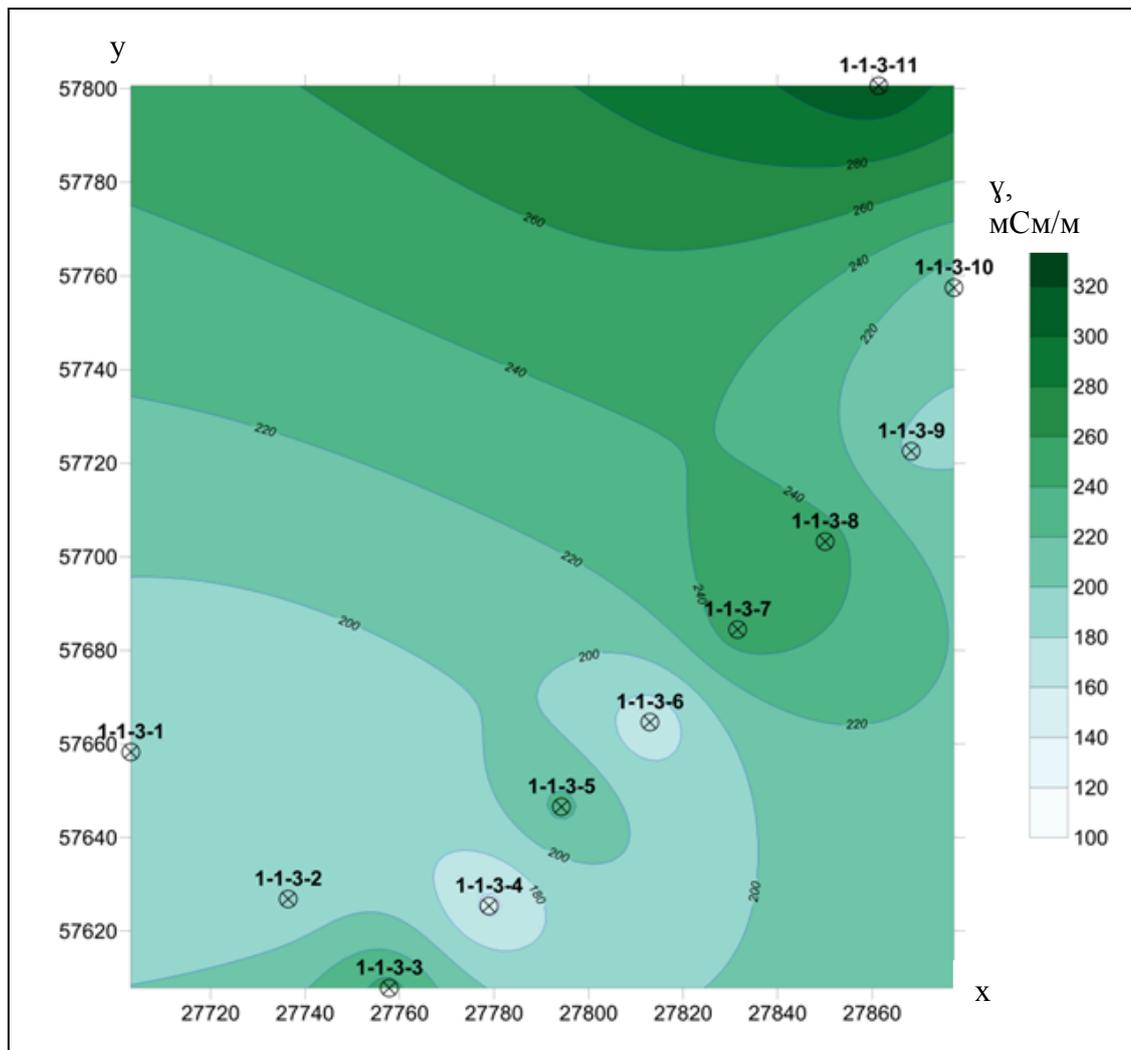


Рисунок 4.10 - Карта интенсивности растекания технических растворов по закачному ряду технологического блока 1-1 месторождения Харасан

На основе сопоставления данных проведенных до и после закисления блока определены фактические интервалы закисления и рассчитаны эффективные мощности закачных скважин и технологических рядов в целом.

Рисунки 4.10 и 4.11 наглядно показывают, что процесс выщелачивания блока проходит весьма неравномерно. При том, что в скважины технический раствор подается в одинаковых количествах и под одинаковым давлением, интенсивность растекания различается в силу литологической разности околоскважинного пространства. Так кислотные растворы поступают в откачные скважины в основном по проницаемому интервалу, а руда, расположенная в менее проницаемой литологической среде остается не отработанной. Это еще одна задача, которую успешно можно решить используя данные геофизических исследований скважин.

В таблице 4.2 по данным ИК приведены результаты о параметрах закисления технологического блока и определены мощности закисления по каждой скважине, что в свою очередь является фактической эффективной мощностью скважин.

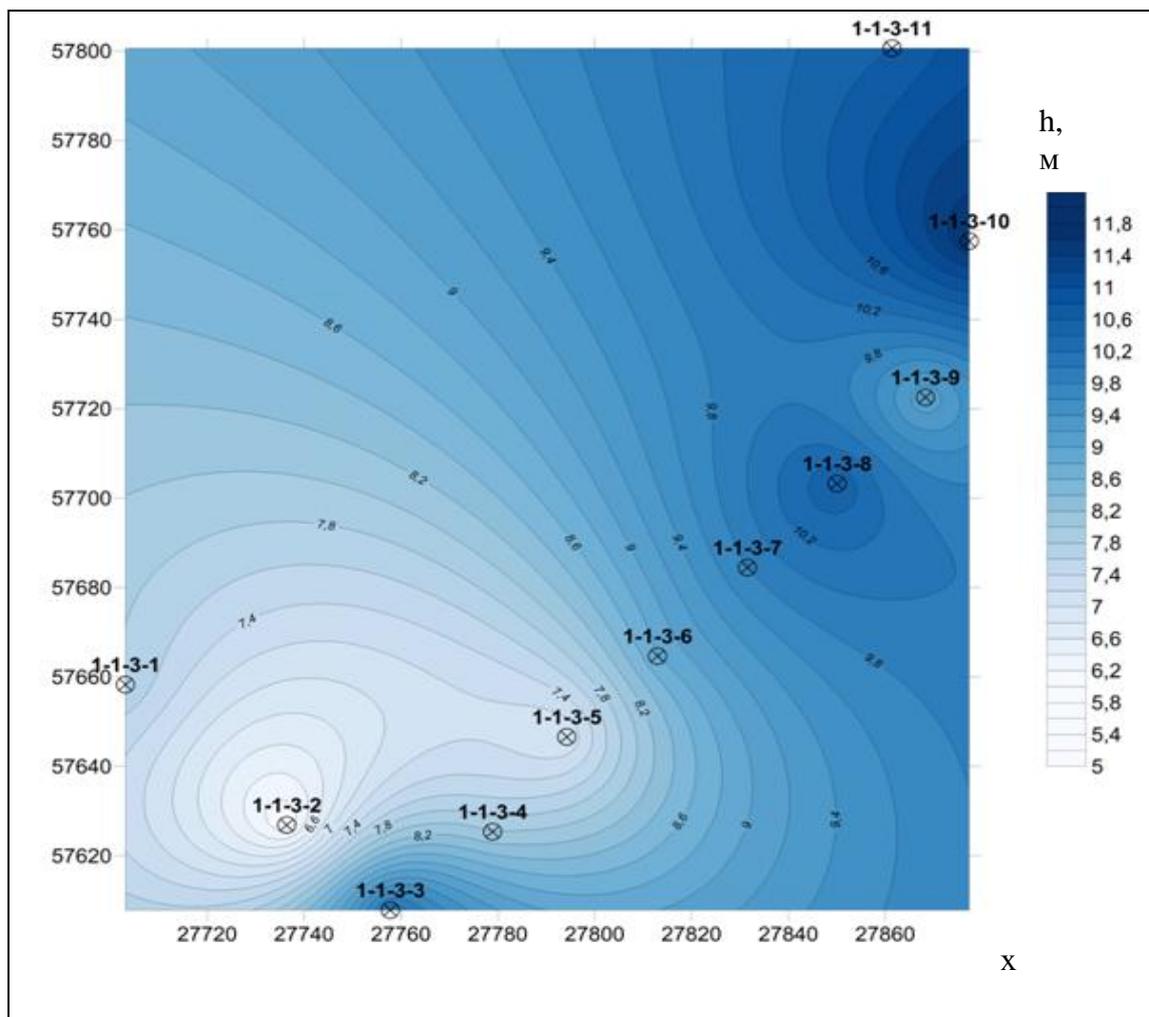


Рисунок 4.11 - Карта изопакит по растеканию технических растворов по закачному ряду 1-1 месторождения Харасан

Таблица 4.2 - Фактические данные закисления по данным ИК ряда 1-1

№ скважины	Интервал закисления, м		мощность закисления, м
	от	до	
1-1-3-1	622,2	630	7,8
1-1-3-2	623	629	6,0
1-1-3-3	624	634,2	10,2
1-1-3-4	623	631	8,0
1-1-3-5	624	631	7,0
1-1-3-6	623,2	632	8,8
1-1-3-7	622,2	632	9,8
1-1-3-8	621,6	632,2	10,6
1-1-3-9	623	632	9
1-1-3-10	623	634,6	11,6
1-1-3-11	622,4	633	10,6

На разрезе (рисунок 4.12) так же видно растекание выщелачивающих растворов по технологическому блоку. На данном блоке повторный ИК проводился через три месяца после закисления блока. На рисунке синим цветом показаны диаграммы индукционного каротажа до закисления блока и красным цветом после его закисления в период отработки блока, желтым цветом обозначен интервал закисления ряда, т.е. $M_{эфф}$ технологического ряда [92].

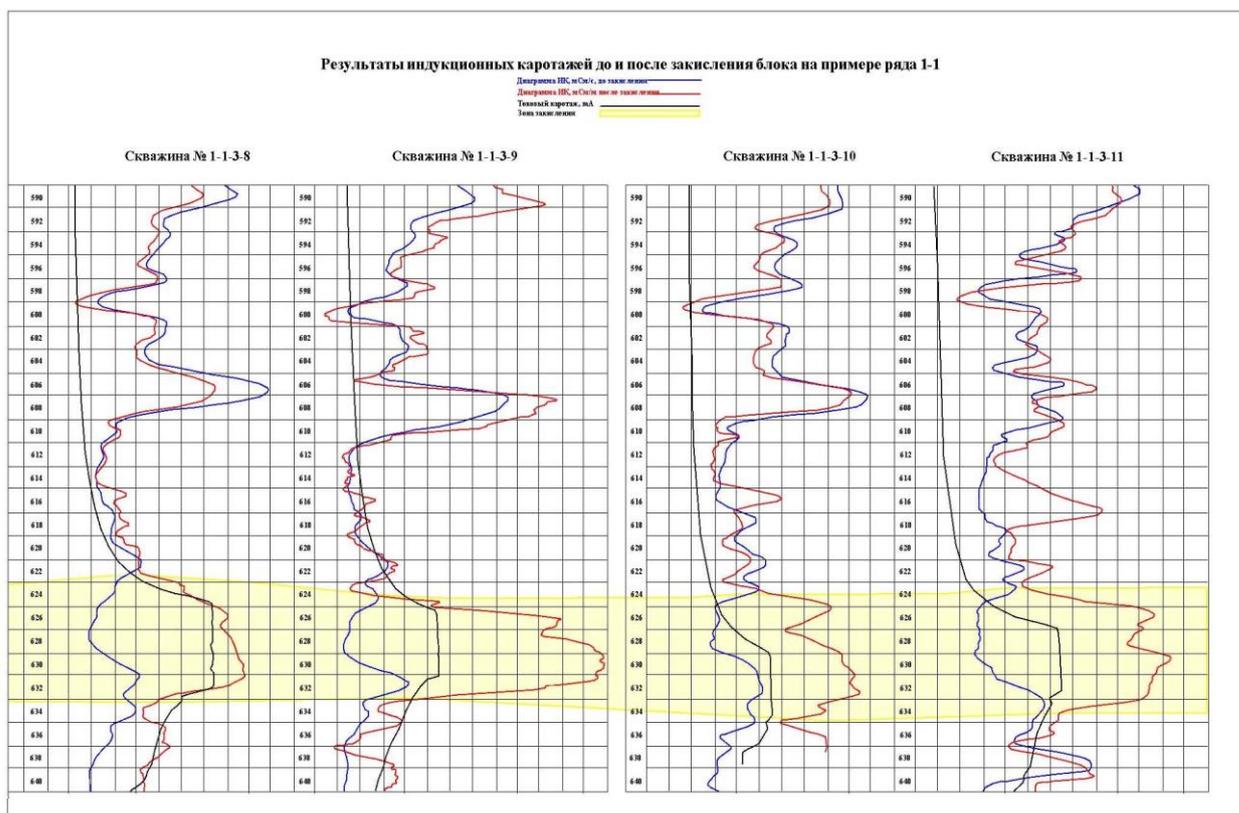


Рисунок 4.12 - Результаты ИК полученные до и после закисления технологического блока 1-1 (на примере месторождения Харасан)

Теперь приведем данные по месторождению Инкай. Так как данное месторождение относится к богатым урановым месторождениям и мощность рудного интервала достигает более 10-15 метров, соответственно применяются 5-6 секционные фильтры. Длина одной секции фильтра составляет 2м, с учетом мощности руды количество секций выбирается для каждой скважины отдельно. На рисунке 4.13 изображена часть ряда 2-2, где скважины обсажены 4-5 секционными фильтрами. На рисунке синим цветом, приведены данные ИК до закисления и красным цветом соответственно после закисления технологического блока. Первый индукционный каротаж на технологическом блоке был проведен совместно с первичным каротажем, в необсаженных скважинах. Повторный индукционный каротаж был проведен в период работы технологического блока через 3 месяца после начала закисления. Данный блок двухярусный, т.е. рудная залежь прослеживается на инкудукском и мынкудукском горизонтах. В связи с этим, фильтры посажены на 2 горизонта,

этот факт отразится на $M_{эфф}$ блока и, следовательно, на горнорудную массу блока. В разделе 5.2 мы рассмотрим расчет $M_{эфф}$ для двухъярусных блоков.

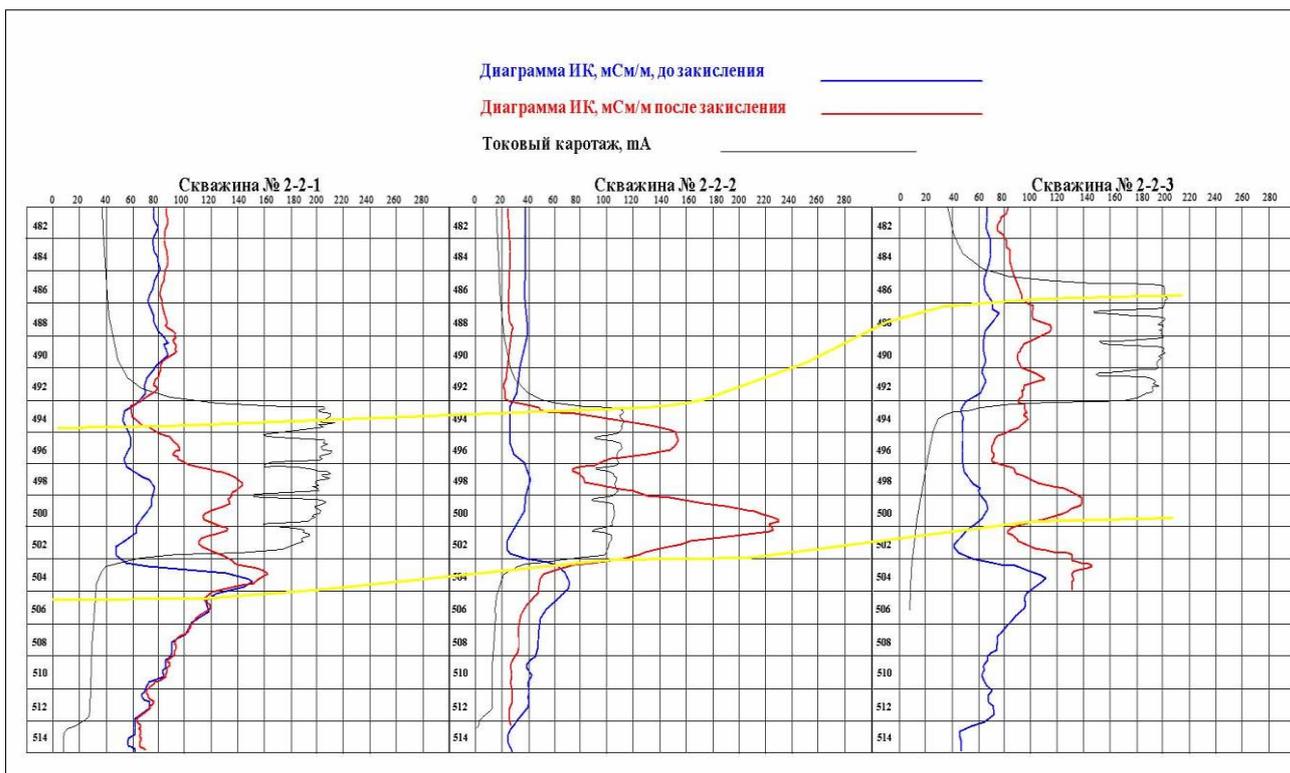


Рисунок 4.13 - Результаты ИК полученные до и после закисления технологического блока 2-2 (на примере месторождения Инкай)

Таким образом, данные индукционного каротажа проведенные после закисления блока дают возможность:

- определить зоны слабопроницаемых пород, где могут остаться неохваченные выщелачивающим раствором рудные зоны.
- повысить достоверность подсчета запасов за счет определения доступного для добычи рудного интервала.
- изучить динамику распределения выщелачивающего раствора в межскважинном пространстве.
- выявить утечку технологических растворов за контур технологического блока.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕБЛОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОРУДЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ МЕТОДОМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ

5.1 Расчет среднеблочных параметров оруденения и подсчет запасов на примере технологического блока месторождения Инкай

Подсчет запасов полезных ископаемых – завершающий и очень ответственный этап комплекса геолого-геофизических и технологических исследований. При этом в основу существующих методов положен принцип преобразования сложных по форме тел полезного ископаемого в систему равновеликих простых тел с оценкой на этой основе объемов недр, занятых полезным ископаемым, и распространением на эти объемы средних характеристик.

Подсчет запасов урана производится в процессе геологоразведочных и горно-подготовительных работ.

При этом к подсчету подлежат:

- балансовые геологические запасы;
- запасы по степени подготовленности (вскрытые, подготовленные, готовые к добыче).

На месторождениях обрабатываемых методом ПСВ, к забалансовым запасам относятся:

– запасы, удовлетворяющие бортовому содержанию, принятому для оконтуривания балансовых запасов в разрезе рудовмещающего горизонта, но не ниже бортового метропроцента для оконтуривания балансовых запасов в плане.

– запасы, удовлетворяющие кондициям для оконтуривания балансовых запасов в плане, но характеризующиеся приуроченностью урана к глинистым прослоям или заглинизированным пескам с коэффициентом фильтрации ниже 1 м/сутки (технологический забаланс), к нему же относится и уран, связанный с карбонатными породами (содержание CO_2 более 2%) при сернокислотном выщелачивании.

Забалансовые запасы в проницаемых породах подсчитываются и учитываются в том случае, если в технико-экономическом обосновании кондиций показана возможность их сохранности в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения либо в случае, если их извлечение из недр фактически осуществляется в процессе эксплуатации.

На месторождениях обрабатываемых методом ПСВ, к балансовым относятся запасы оконтуренные только в проницаемых породах [52].

В литературе упоминается свыше 20 методов подсчета запасов. При подсчете запасов твердых полезных ископаемых используются два основных способа: геологических блоков и разрезов, а при утверждении запасов эксплуатируемых месторождений – способ эксплуатационных блоков. В последнее время, в связи с развитием автоматизации подсчетных операций, применяются иные способы, более удобные для вычисления на ЭВМ,

например, близкие к способу изолиний. Стоит отметить, что проведенные исследования в 50-е годы, показали, что точность подсчета запасов практически не зависит от принятого способа и более целесообразным следует считать использование таких способов которые, прежде всего, дают возможность учитывать и отражать геологические особенности строения месторождения, его структуру, и в то же время позволяют сократить время на подсчетные операции [50-53].

Подсчёт запасов металла производится непосредственно по рудным залежам, независимо от мощности вмещающего их продуктивного горизонта.

Основными исходными данными для подсчета запасов являются результаты интерпретации гамма-каротажа скважин. В отдельных случаях, например по контрольным скважинам в основу подсчета могут быть положены результаты анализа керновых проб [54].

При подсчете запасов гидрогенных пластовых месторождений выполняются последовательно следующие операции:

– Оконтуривание рудной залежи по мощности производится на геологических разрезах и начинается с выделения кондиционных рудных интервалов по скважинам.

– Оконтуривание рудной залежи в плане производится по установленному кондициями метропроценту. Внешний контур балансовых запасов должен опираться на точки, интерполированные на половину расстояния между «рудной» и «безрудной» скважинами.

– Расчет средних параметров рудных залежей по геологическим блокам производится на основании сечений (скважин), составляющих разведочную сеть. По каждому сечению определяется мощность рудной залежи и среднее содержание полезного компонента в руде.

Все операции подсчёта запасов отражаются в счётных формах, соответствующих избранному способу подсчета запасов.

Сущность метода геологических блоков состоит в том, что на проекции рудного тела – вертикальной, горизонтальной или параллельной ему наклонной – выделяется ряд подсчетных блоков. По выработкам, входящим в их контур, вычисляются средние для блоков мощности рудного тела и содержания в них полезных компонентов. Объем блока устанавливается как произведение площади, замеренной по проекции рудного тела, на среднюю мощность, содержание руды – умножением на объемный вес, а запасы металлов - исходя из вышеперечисленного среднего их содержания. Таким образом, метод геологических блоков отличается простотой и не требует больших затрат времени [34, с.188].

При подсчете запасов гидрогенных месторождений урана используется метод геологических блоков в проекции на горизонтальную плоскость. Это связано с тем, что данный метод позволяет наиболее полно учитывать особенности геологического строения месторождения, а также является простым и достаточно достоверным методом.

Подсчет запасов производится по следующей формуле:

$$P = S * K_p * \rho , \quad (5.1)$$

где P – запасы металла в т;
 S – площадь блоков в плане в тыс. м²;
 K_p – площадной коэффициент рудоносности;
 ρ – средняя продуктивность по блоку.

Ниже приведен пример подсчета запасов в программе GiK. Программа GiK является составной частью автоматизированной информационной системы управления добычей металлов – «Рудник», зарегистрированной как объект интеллектуальной собственности в Комитете по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан № 223 от 25 августа 2004г. [55].

Программа позволяет выполнить графические построения и провести подсчет запасов методом геологических блоков в проекции на горизонтальную плоскость, рассчитать параметры рудных интервалов в пределах закисляемой части продуктивного горизонта; рассчитать среднеблочные параметры оруденения; охарактеризовать пространственное положение технологических и геологических объектов, расчетным путем определить площадь блока на уровне рудного тела [56,57].

В процессе подсчета запасов выполняются следующие действия:

- 1) выбираются рудные интервалы по гамма – каротажу;
- 2) вычисляются средние подсчетные параметры по пересечению.

Скважины, включаемые в блок, по значению метропроцента делят на балансовые и забалансовые. После этого рассчитываются средние значения мощности, содержания, метропроценты, эффективные мощности, коэффициенты рудоносности по блоку.

Среднее содержание, средняя мощность и метропроцент по каждой скважине (рудному пересечению) подсчитываются по следующим формулам:

$$\sum m = \sum_1^n m_i, \quad (5.2)$$

$$\sum mc = \sum_1^n mc, \quad (5.3)$$

$$\sum mc_p = c' * \sum mc , \quad (5.4)$$

$$C_{cp} = \frac{\sum mci}{\sum mi}, \quad (5.5)$$

где i – номер рудного интервала в пределах пересечения по блоку;
 n – количество рудных интервалов в пределах пересечения по блоку;
 $\sum mc$ – суммарный метропроцент пересечения по блоку (м%);
 $\sum m$ – суммарная рудная мощность пересечения по блоку (м);

C_{cp} - среднее содержание по рудным интервалам в пределах пересечения по блоку;
 c' – среднее содержание, округленное до трех знаков после запятой;
 $\sum mc_p$ – суммарный расчетный метропроцент пересечения по блоку.

Площадной коэффициент рудоносности вычисляется как отношение числа пересечений, вскрывших промышленное оруденение, к общему их числу в пределах блока по формуле:

$$K_p^s = \frac{n1 - (n3 + n8)}{n1}, \quad (5.6)$$

где K_p^s – площадной коэффициент рудоносности;
 $n1$ – общее количество скважин в блоке;
 $n3$ – количество некондиционных скважин;
 $n8$ – количество безрудных скважин.

Далее определяем общую и рудную площадь пересеченных блоков. Также выполняется расчет продуктивности (Q) в проницаемых отложениях в пределах блоков балансовых руд по формуле:

$$Q = S \cdot d \cdot m \cdot C, \quad (5.7)$$

где S – площадь, равная 1 м²;
d – объемный вес руды (г/см³)
m – мощность (м);
C – содержание урана (%).

Для подсчета запасов в программе GiK в обязательном порядке пользователем заполняются следующие данные (для примера выбран технологический блок №11):

- номер блока- №11
- категория запасов - C₁;
- минимально допустимый метропроцент для включения скважины в контур подсчетного блока- 0,02 м%;
- предельно допустимое отношение для выявления урагана по методике Когана в %- 20;
- объемный вес руды-1,7;
- площадь блока-54 000 м².

Эти данные дают общие характеристики и кондиционные признаки для расчета среднеблочных параметров.

Ниже представлена схема технологического блока №11 в плане (рисунок 5.1).

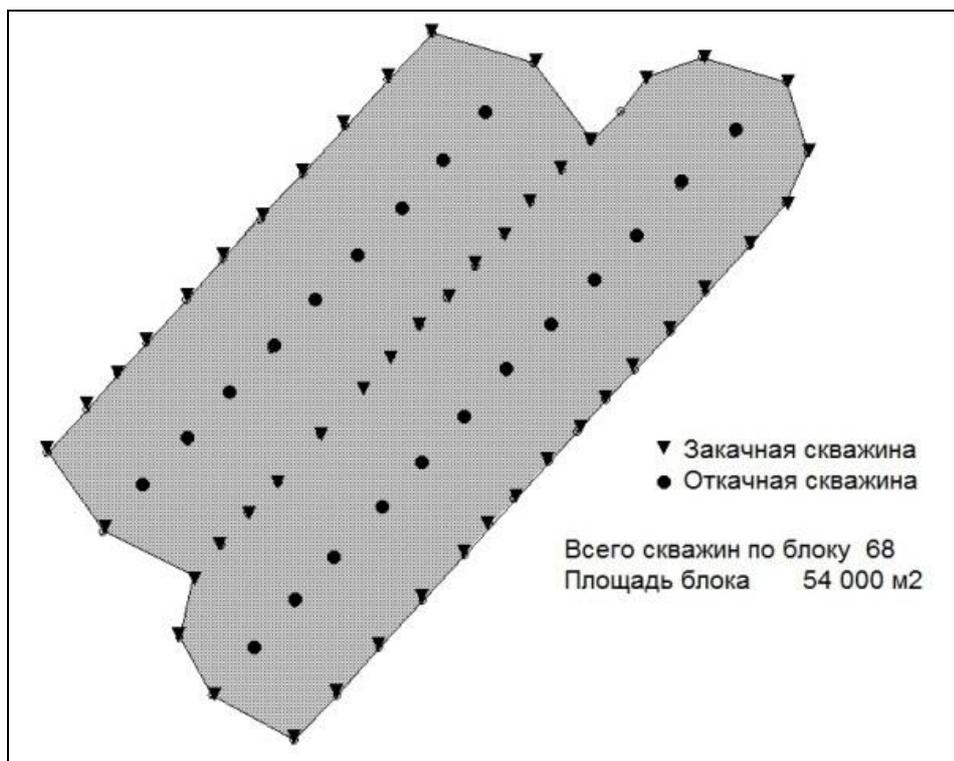


Рисунок 5.1 - Схема технологического блока № 11 месторождения Инкай

В результате подсчетов по программе GIK получаем следующие среднеблочные параметры оруденения (таблица 5.1):

Таблица 5.1 - Среднеблочные параметры оруденения по технологическому блоку №11

Принятое в подсчет количество скважин и групп сближенных пересечений	68
Средняя мощность руды, м	5,17
Среднее содержание руды (С), %	0,045
Средний метропроцент(мС), м%	0,2327
Площадной коэффициент рудоносности	97,89
Продуктивность оруденения, кг/м ²	3,96
Средневзвешенный Кф , м/сут	1,3
Эффективная мощность блока, м	12,14
Эффективная мощность проницаемых отложений блока, м	11,7
Эффективная мощность продуктивного горизонта, м	18,8
ГРМ, тыс.тонн	1074,06
Запасы металла, тонн	209,33

Следует отметить, что в отраслевой практике продолжается подсчет запасов по блоку с помощью «Таблицы вывода средних значений мощностей и содержаний урана по пересечениям» (рисунок 5.2).

Рудная залежь					4	Блок			Эксплуатационный блок № 11						длина фильтра	элем. в Мэф.	Мэф.	
№ п/п	№ профиля (ряд)	№ скважин	Рудные интервалы, м		Рудная мощность, (м), м	Содержание урана (С), %	Метрпроцент (mC), м%	Приведенный метрпроцент (mC), м%	Закисл. мощ-ть, (Мзак), м	Удельная продуктивность (р), кг/м2	Интервал посадки фильтров, м		нижний водоупор					
			от	до							от	до						
1	5	11-1-1	494,3	497,1	2,80	0,017	0,0463											
			498,1	499,6	1,50	0,018	0,0263											
			505,1	507,2	2,10	0,019	0,0390											
			итого		6,40	0,017	0,1116	0,1088	12,10	1,90	494,2	506,9	507,2	11,7	1,0	494,10	512,92	
2	5	11-1-2	496,6	501,1	4,50	0,018	0,0798											
			итого		4,50	0,018	0,0798	0,0810	12,50	1,36	494,1	503,8	506,6	9,7	0,0	494,10	509,62	
3	5	11-1-3	некондиционная															
			итого		0,00	0,000	0,0000	0,0000	13,00	0,00	493,3	503,0	506,0	9,7	1,2	491,80	508,82	
n	n-n-n		490,9	493,0	2,10	0,041	0,0856											
			499,6	506,0	6,40	0,044	0,2784											
			итого		6,40	0,044	0,2784	0,2816		4,73	498,9	506,6	506,0	7,7	0,0	499,60	511,22	
			Сумма		482,20			21,5886	996,32									
			Среднее		5,18	0,045	0,2318	0,2318	11,86									

g	1,7	т/м ³	m, м	C, %	mC, м%	M _{эфф}
K _р	0,98		5,18	0,045	0,2318	11,86
p	3,94	кг/м ²				
S	факт 54,000	тыс. м ²				
З а п а с ы			всего скважин		95	
P	208,3	тонн				
ГРМ	1088,8	тыс. т.	Ураганных пересечений		нет	

Рисунок 5.2 - Таблица вывода средних значений мощностей и содержаний урана по пересечениям

Таким образом, необходимо отметить, что для правильного ведения процесса подсчета запасов необходимо проводить мониторинг с целью контроля степени закисления блока, определения фактической эффективной мощности блока и для выбора корректной формулы расчета среднеблочных параметров оруденения. Это в свою очередь позволит на предприятиях ПСВ урана правильно рассчитать расход кислоты и снизить себестоимость урана [64].

5.2 Расчет среднеблочных параметров оруденения для двухъярусных технологических блоков

При расчете геотехнологических параметров оруденения для двухъярусных блоков, необходимо учитывать влияние соседних скважин друг на друга, то есть при расчете $M_{эфф}$ в счет берутся не только длина фильтра, наличие или отсутствие глинистых прослоев, но так же учитывается $M_{эфф}$ соседних скважин. Ниже на примере технологического блока 22 рассчитаем геотехнологические параметры блока.

На рисунке 5.3 черными линиями оконтурены границы технологического блока №22. Розовыми линиями оконтурены границы второго яруса данного технологического блока. В случаях, когда обнаруживается руда на верхнем горизонте, в первую очередь обрабатывается рудное тело, которое расположено на нижнем горизонте. После окончания бурения и расчета стволовых запасов

решается целесообразность обработки рудной залежи, расположенной на верхнем горизонте.

В данном случае, на технологическом блоке 22 рудные тела локализованы на инкудукском и мынкудукском рудовмещающих горизонтах. Продуктивные горизонты не имеют типичное строение: разномерные и грубомерные отложения в нижней части горизонта последовательно сменяются на относительно мелкозернистые пески в его средней и верхних частях.

Рудные тела в разрезе в большей степени тяготеют к нижней части горизонта в пределах глубин от 480 м до 515 м. Это, в свою очередь, определяет наличие для большей части залежи нижнего палеозойского водоупора.

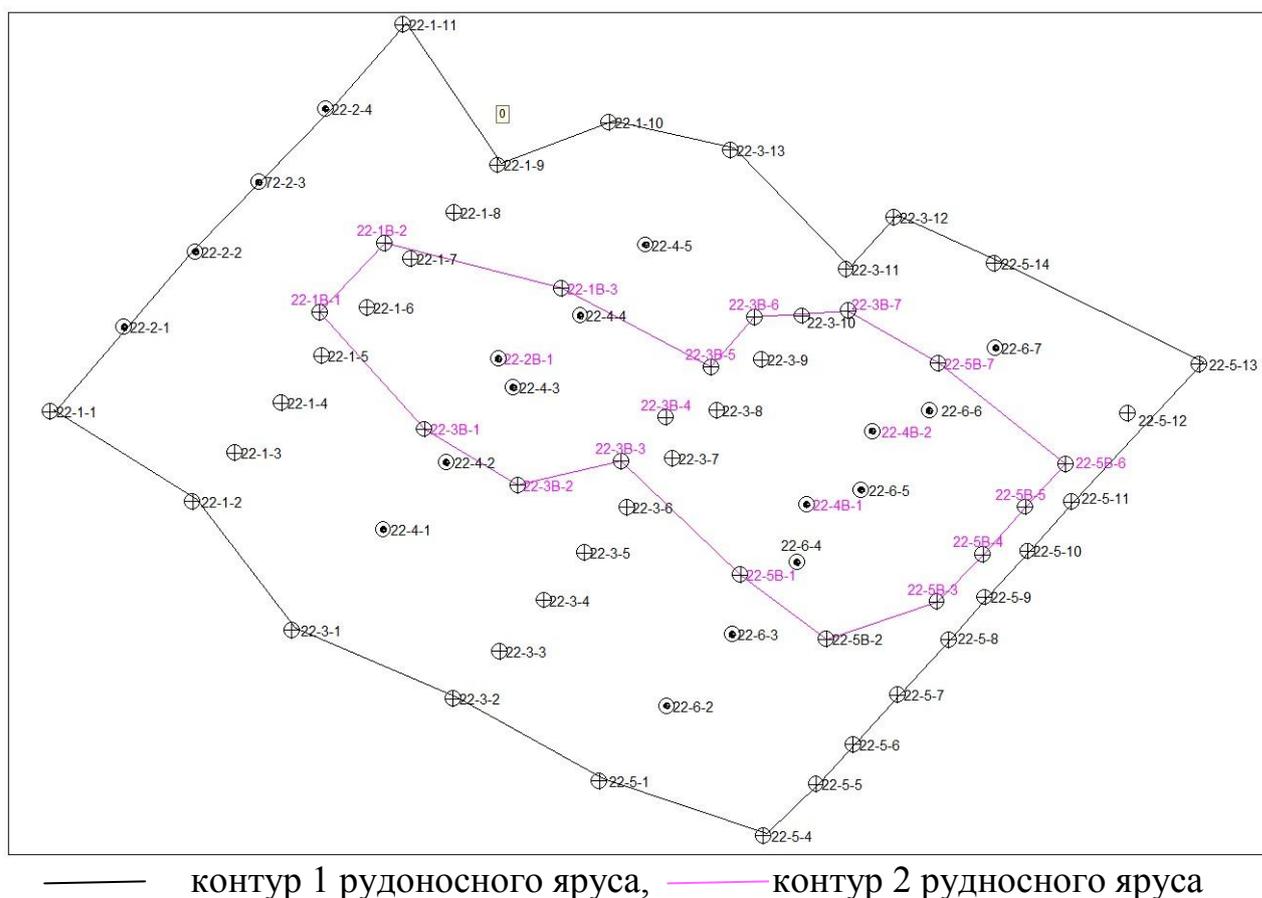


Рисунок 5.3 План-схема технологического блока №22 месторождения Инкай

Параметры руд меняются в широких пределах: содержание урана от 0,010 % до 0,490 %, мощность от первых метров до 25 м (рисунок 5.4).

На инкудукском горизонте тоже локализовано небольшое количество рудной залежи, в связи с этим было добурено небольшое количество скважин и фильтры были установлены на руду инкудукского горизонта. Скважины, пробуренные на верхнюю руду, обозначены буквой «В» после номера скважины. Стоит отметить, что глубина скважин пробуренных на инкудукскую руду достигает до мынкудукского горизонта и зачастую дает дополнительную информацию о рудном теле.

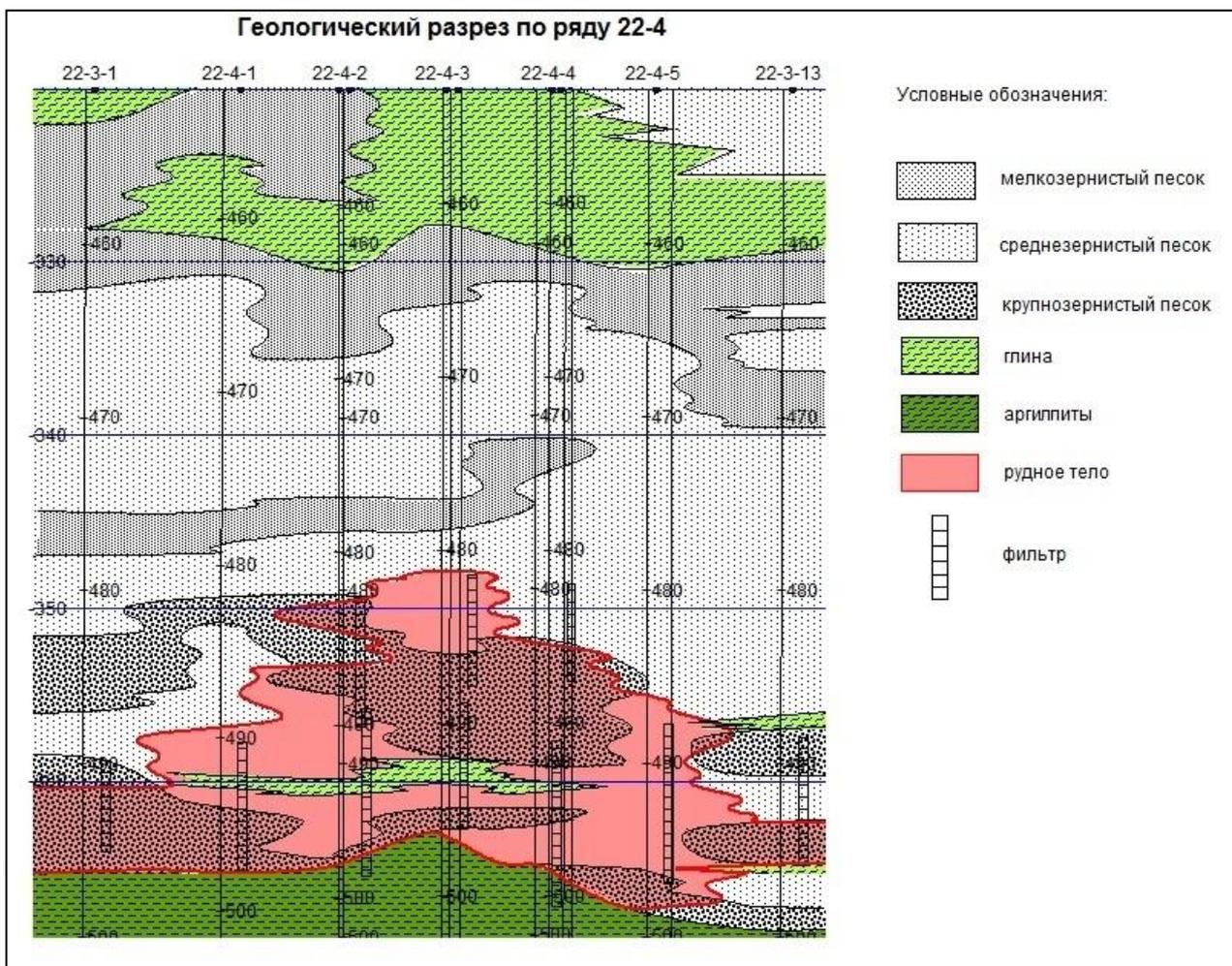


Рисунок 5.4 – Геологический разрез по ряду 22-4 месторождения Инкай

Согласно инструкции подсчета запасов, при проведении подсчета запасов в расчет берутся все скважины входящие в контур исследуемого эксплуатационного блока. Итак, при подсчете запасов 22 блока были взяты данные по 88 скважинам.

При расчете горнорудной массы блока эффективная мощность по скважинам расположенным на первом и втором ярусах были вручную увеличены с учетом влияния соседних скважин. Т.е. если в среднем длина фильтров скважин по данному блоку составляет 6-10 метров, то при расчете средней Мэфф брали 12-18м. То есть фильтры работают сразу на два яруса. Данная операция позволяет уточнить объем запасов урановой руды и правильно рассчитать ГРМ двухярусного блока.

В таблице 5.2 приведены рассчитанные в программе GIK среднеблочные параметры оруденения и запасы технологического блока №22.

Таблица 5.2 -Расчет среднеблочных параметров оруденения и подсчет запасов технологического блока №22

Средняя мощность руды, м	8,97
Площадной коэффициент рудоносности	98,53
Продуктивность оруденения, кг/м ²	6,33
Средневзвешенный Кф, м/сут	4,7
Эффективная мощность блока, м	13,72
Эффективная мощность проницаемых отложений блока, м	13,02
Эффективная мощность продуктивного горизонта, м	26,2
ГРМ, тыс.тонн	1161,37
Содержание (С), %	0,042
Метропроцент(мС), м%	0,3724
Запасы металла, тонн	332,6

5.3 Предложение по внесению изменений в стандартный расчет геолого-геотехнологических параметров используемый на сегодняшний день

Важной задачей управления разработкой месторождений урана способом подземного выщелачивания является снижение себестоимости добычи. Примерная структура затрат при добыче урана способом подземного выщелачивания на современном геотехнологическом предприятии приведено в таблице 5.3[14].

Таблица 5.3 - Примерная структура затрат при добыче урана методом ПСВ

Затраты	Доля, %
Амортизационные отчисления	9-20
Погашение горно-подготовительных работ	17-23
Материалы (в основном реагенты)	25-45
Энергозатраты	8-15
Зарплата	4-6
Общие затраты по предприятию	12-20

С вышеприведенной таблицы можно заметить что, при разработке месторождений методом ПСВ больше всего затрат уходит на материалы т.е. на реагенты (таблица 5.3). В связи с этим, необходимо вести работы по сокращению расходов и снижению себестоимости урана.

Для снижения себестоимости, т.е. для расчета необходимого количества реагентов необходимо наиболее точно определить горнорудную массу и Ж:Т.

Для достижения вышеизложенных задач необходимо проводить повторный индукционный каротаж на всех технологических, наблюдательных и контрольных скважинах блока и определить фактическую эффективную мощность блока. Полученные и проинтерпретированные геолого-геофизические данные в свою очередь послужат правильному расчету расхода реагентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная диссертация на соискание степени доктора философии является научным вкладом в методику определения геологических и геотехнологических параметров на урановорудных месторождениях Казахстана на основе геофизических данных.

В настоящее время, в нашей стране методом подземного скважинного выщелачивания интенсивно отрабатываются месторождения урана в Шу-Сарысуйской, Северо-Казахстанской и Сырдарьинской провинциях. В период отработки большинство скважин бурятся без отбора керна, в связи с этим, геофизические исследования скважин являются основным методом получения наиболее полной информации об особенностях геологического разреза и характеристики уранового оруденения по каждой скважине.

В работе представлен новый подход использования геофизических методов исследования для определения геолого-геотехнологических параметров руды и рудовмещающей среды.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований состоят в следующем:

- анализ существующих методов ГИС, применяемых на урановорудных месторождениях Казахстана для расчета геологических и геотехнологических параметров показал необходимость разработки нового подхода определения геолого-геотехнологических параметров руды и рудовмещающей среды;

- для проведения геолого-геофизического мониторинга были выбраны действующие рудники месторождения Инкай и Харасан, которые расположены на Шу-Сарысуйском и Сырдарьинском рудных провинциях. По данным месторождениям были собраны материалы с момента их открытия по настоящее время. Полученные данные были систематизированы, проанализированы, проинтерпретированы согласно «Инструкции по подземному скважинному выщелачиванию»;

- показана эффективность и целесообразность повторного проведения индукционного каротажа во всех технологических, наблюдательных и контрольных скважинах, отрабатываемых блоков до и во время отработки блока;

- на основе сопоставления результатов каротажных работ, проведенных до и после закисления блока, и их интерпретации показана эффективность внедрения новой методики при определении эффективной мощности и степени закисления исследуемых технологических блоков;

- по данным ГИС были рассчитаны среднеблочные параметры оруденения для подсчета запасов методом геологических блоков. Выявлены источники погрешностей, имеющие место при расчетах блочных запасов;

- проведение индукционного каротажа на технологических скважинах во время отработки блока и их сопоставление с предыдущими аналогичными данными, проведенными в период бурения скважин, позволят повысить достоверность расчета среднеблочных параметров оруденения к подсчету

запасов, а также достоверно определить степень и эффективность отработки технологических блоков.

В итоге теоретических и экспериментальных исследований апробирована и внедрена методика определения эффективной мощности рудовмещающих пород по данным геофизических исследований скважин в период отработки месторождений урана гидрогенного типа. В связи с тем, что в настоящее время идет интенсивное расширение объектов добычи при том, что на данных месторождениях детальная разведка еще не завершена или проведена частично, определение геологических, геотехнологических параметров и характеристик по имеющимся геолого-геофизическим данным является определенным вкладом в процесс отработки месторождений урана. Стоит отметить, что данная методика успешно может быть использована на других месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Официальный сайт НАК «Казатомпром» // <http://www.kazatomprom.kz/#!/industry/uranium/exploration>
- 2 Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). - Алматы: Гылым, 1995. - 264 с.
- 3 Мац Н.А. Научно-практическое геофизическое обеспечение прогнозно-поисковых и разведочных работ на уран // Разведка и охрана недр. – 2005. - № 10. - С. 80.
- 4 Кунин Н.Я. Тектоника Средне-Сырдарьинской и Чу-Сарысуйской депрессий по геофизическим данным. - М.: Недра, 1968. – 264 с.
- 5 Отчет по глубинному геологическому картированию мезозойско-кайнозойского чехла Чу-Сарысуйской депрессии. – Алматы, 2012. – 160 с.
- 6 Бровин К.Г., В.А., Грабовников, М.В. Шумилин, В.Г. Язиков. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. – Алматы: Гылым, 1997. – 384 с.
- 7 Демехов Ю.В. Совершенствование комплекса ГИС в технологических скважинах при добыче урана методом ПСВ // Сборник докладов научно-практической конференции Актуальные проблемы отработки урановых месторождений методом подземного выщелачивания. - Алматы, 2000. –191с.
- 8 Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Носков М.Д. Математическое моделирование геоэкологических последствий разработки месторождения урана методом подземного выщелачивания. – Северск: ФГОУ ВПО, 2011. - С. 1.
- 9 Отчет о результатах детальной разведки участка 4 месторождения Инкай. - Алматы, 2009.
- 10 Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. – М.: Недра, 1965. – 272 с.
- 11 Максимова М.Ф. Шмариович Е.М. Пластово – инфильтрационные рудообразования. – М.:Недра, 1993. – 160 с.
- 12 Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования / под ред. А.И. Перельмана. - М.: Атомиздат, 1980. – 270 с.
- 13 Носков М.Д. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания. – Свердловск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2010. – 83 с.
- 14 Мамилов В.А., Петров Р.П., Шушания Г.Р. и др. Добыча урана методом подземного выщелачивания.- М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.
- 15 Мониторинг на территории деятельности предприятий по добыче урана методом ПСВ. Студопедия // <http://studopedia.info/9-35508.html>.
- 16 Аренс В.Ж. Скважинные методы добычи полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986. – 279 с.
- 17 Морозов М.Д., Бекжанов Г.Р., Сердюков М.К. Геофизические исследования в Казахстане. - Алматы, 1968. – С. 3-4.

18 Единое окно доступа к информационным ресурсам // http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/821/74821/54895?p_page=24.

19 Темирханова Р.Г., Шиманский С.В. Актуальные проблемы применения метода каротажа мгновенных нейтронов деления при геологоразведочных и добычных работах на урановых месторождениях пластово-инфильтрационного типа // Вестник СПбГУ. - Санкт-Петербург, 2014. - №1. - 24 с.

20 Темирханова Р.Г. Роль и место геофизических методов в поиске, разведке и эксплуатации урановых месторождений в Казахстане // Журнал «Геология и охрана недр». - Алматы, 2013. – 62 с.

21 Электронная библиотека студента // <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=655808>

22 Лунев Л.И. Условия применения и физико-химические основы подземного выщелачивания урана. – М.: Изд-во МГРИ, 1982. - 93 с.

23 Максимова М.Ф., Шмариович Е.М. Пластово инфильтрационные рудообразование. – М.: Недра, 1993. – 160 с.

24 Инструкция по подземному скважинному выщелачиванию урана. - Алматы, 2006. - 181с.

25 Язиков В.Г., Легавко А.В. Особенности проведения геофизических исследований в скважинах при изучении и освоении инфильтрационных (водородных) месторождений урана. - Томск: Издательство ТПУ, 2012. – С. 12.

26 Хайкович И.М. Шестнадцать лекций по геофизическим методам каротажа на месторождениях урана, предназначенных для отработки подземным скважинным выщелачивание. - Санкт-Петербург, 2013. – 100 с.

27 Ерофеев Л.Я., Номоконова Г.Г. Геофизические методы исследования месторождений урана: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 105с.

28 Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка: учебник для вузов. – Л.: Недра, 1989. – 407 с.

29 Хасанов Э.Г., Абрамов Е.К., Демехова Л.И. и др. Методические рекомендации по комплексу геофизических методов исследования скважин при подземном выщелачивании урана. - Алматы, 2003. – 76 с.

30 Демехов Ю.В. Каротаж нейтронов деления (КНД-м) при разведке и эксплуатации месторождений урана водородного типа. - Екатеринбург, 2013. – 221 с.

31 Пат.71004. Талалай А.Г.// <http://bankpatentov.ru/node/24860>.

32 Машкин А. И., Перельгин В. Т., Демехов Ю. В., Румянцев Д. Р., Талалай А. Г., Сарвартинов И.Д. Техническое и метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин на твердые полезные ископаемые // Материалы научно-технической конференции «Приборостроение-2004». – Екатеринбург, 2004, октябрь 16-19. – С. 51.

33 Меркулов В.П. Геофизические исследования скважин: учебное пособие. - Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 139 с.

34 Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. - М.: Недра, 1971. - 188 с.

- 35 Катц Д.Л., Корнелл Д. и др. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. – М.: Недра, 1965. – 348 с.
- 36 Oberto Serra The well logging handbook. - Paris; France, 2008. – 174p.
- 37 // <http://studopedia.org/1-27362.html>.
- 38 // <http://geolink.virtbox.ru/trim.htm>
- 39 Moran J.H., Kunz K.S Basic theory of induction logging and application to study of two-coil sondes // Geophysics. – 1962. - Vol. 27. - P. 829-858 // <http://geophysics.geoscienceworld.org/content/27/6/829>.
- 40 Pat. 3,067,383 USA. Induction Well Logging / Tanguy D.R.; 1962.
- 41 Barber T.D. Introduction to the Phasor Dual Induction Tool // J Pet Technol. - 1985. - №37 (9). –P. 1699-1706 // <http://dx.doi.org/10.2118/12049-PA>
- 42 Kienitz C. et al. Accurate Logging in Large Boreholes. presented at the 1986 SPWLA Annual Logging Symposium. - Houston, 1986, june 9–13. –P. 3.
- 43 Martin D.W., Spencer M.C., Patel H.K. The Digital Induction - A New Approach to Improving the Response of the Induction Measurement. Presented at the SPWLA 25th Annual Logging Symposium.–SPWLA, 1984.
- 44 Crary S., Jacobsen S., Rasmus J.C. et al. Effect of Resistive Invasion on Resistivity Logs. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. - New Orleans; Louisiana, 2001, september–3 // <http://dx.doi.org/10.2118/71708-MS>.
- 45 Griffiths R., Barber T., Faivre O. Optimal Evaluation of Formation Resistivities Using Array Induction and Array Laterolog Tools. Paper BBB presented at the 2000 SPWLA Annual Logging Symposium. - Dallas, 2001, june 4–7.
- 46 Интернет ресурс GeoGet // <http://geoget.com/node/109>.
- 47 Hunka J.F., Barber T.D., Rosthal R.A. et al. A New Resistivity Measurement System for Deep Formation Imaging and High-Resolution Formation Evaluation. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. - New Orleans; Louisiana, 1990, september 23-26 // <http://dx.doi.org/10.2118/20559-MS>
- 48 Темирханова Р. Актуальность использования данных индукционного каротажа для определения геотехнологических параметров при обработке месторождений урана методом ПСВ // Вестник КазНТУ им К.И. Сатпаева. – 2015. - №5 (111). – С. 33.
- 49 Косков В.Н., Косков Б.В. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС. – Пермь: Изд-во Перм. Гос.тех. ун-та, 2007. – С. 81-83.
- 50 Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 141с.
- 51 Белецкий В.И., Богатков Л.К., Волков Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана. - М.: Энератомиздат, 1997. -672с.
- 52 Языков В.Г. Особенности геологического изучения инфильтрационных (водородных) месторождений урана при их доразведке и освоении. – Томск: Изд-во: Томского политех. ун-та, 2012. - С. 37-38.

53 Темирханова Р. Подсчет запасов урана методом геологических блоков (в проекции на горизонтальную плоскость) // *Austrian Journal of Technical and Natural Science*. - Вена; Австрия, 2014. - 104 с.

54 Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений: утв. Мин. геологии СССР 24 июля 1987г. - М., 1987.

55 Стандарт ТОО «Горнорудная компания». Автоматизированная информационная система управления добычей металлов «Рудник». - Алматы, 2011. - 25 с.

56 Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых г. Москва. – М., 1987.

57 Хасанов Э.Г., Абрамов Е.К., Демехова Л.И., Киселев А.В., Дробов С.Р., Литвишко Н.В., Тригубов С.В. Инструкция по гамма-каротажу при подготовке к эксплуатации и эксплуатации пластово – фильтрационных месторождений урана. - Алматы, 2003.

58 Сушко С.М., Берикболов Б.Р., Долгополов В.Ф. Урановые месторождения Казахстана, перспективы их промышленного освоения и поисков. - Алматы, 2010. - С. 4.

59 Ерофеев Л.Я., Номоконова Г.Г. Геофизические методы исследования месторождений урана. – Томск: Издательство Томского Политехнического университета, 2009.– 105 с.

60 Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. – М.: Недра, 1995. – 155 с.

61 Шумилин М.В., Викентьев В.А. Подсчет запасов урановых месторождений. - М.: Недра, 1986. – 206 с.

62 Темирханова Р., Нурмагамбетов А. Доклад «Дополнительные задачи геофизических методов исследования...» // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития геологического кластера «Образование-наука-производство». – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2014. - 257 с.

63 Temirkhanova R. Application of prompt fission neutron logging to the uranium deposits of stratified infiltration type // *International Multidisciplinary Scientific Conferences SGEM*. - Bulgaria, 2014. - 413p.

64 Temirkhanova R. Appraisal of Uranium reserves by geological block method (with use of horizontal projection) // *International Journal of Earth Sciences & Engineering*. - India, 2015. -P. 1-4.

65 Temirkhanova R. The new tasks solution at processing the uranium deposits of the hydrogenous type by the induction logging method // *International Scientific and Practical Conference Topical researches of the world science*. – Dubai: UAE, 2015. - Vol. 2. - P. 16.

66 Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. – М.: Недра, 1965. - 272 с.

67 Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования/ под ред. А.И. Прельмана. - М.: Атомиздат, 1980. – 270 с.

- 68 Максимова М.Ф., Шмариович Е.М. Пластово-инфильтрационные рудообразование. – М.: Недра, 1993. – 160 с.
- 69 Антонов Ю.Н., Приворотский Б.И. Высокочастотный индукционный каротаж. – Новосибирск: Недра, 1975. – 260 с.
- 70 Плюснин М.И. Индукционный каротаж. – М.: Недра, 1968. – 140 с.
- 71 Кауфман А.А. Теория индукционного каротажа. – М.: Наука, 1965. – 236 с.
- 72 Дахнов В.Н., Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. - М.: Недра, 1972. – 369 с.
- 73 Геологический словарь. – 2-е изд., испр.– М.: Недра, 1978. – Т. 1. – 486 с.
- 74 Горбачев Ю.И. Геофизические исследования скважин. - М.: Недра, 1990. – 39 с.
- 75 Долицкий В.А. Геологическая интерпретация материалов геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1966. – 387 с.
- 76 Итенберг С. С. Геофизические исследования в скважинах: учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 351 с.
- 77 Комаров С. Г. Геофизические методы исследования скважин.- М.:Недра, 1973. – 368 с.
- 78 Косков В. Н. Основы машинной интерпретации данных геофизических исследований нефтегазовых скважин. – Пермь: Изд-во Перм. унив., 1995. – 132с.
- 79 Мухер А.А. Геофизические и прямые методы исследования скважин. - М.: Недра, 1981. –29 с.
- 80 Пирсон С.Дж. Справочник по интерпретации данных каротажа. - М.: Недра, 1966. – 413 с.
- 81 Уваров А.Д., Бармасов В.А., Белых А.В., Ряскова И.Е. Обработка, интерпретация геолого-геофизических данных и подсчет запасов в системе «Рудник» (метод ПСВ). - Алматы, 2007. – 105 с.
- 82 Каждан А.Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1977. – 327 с.
- 83 Хайкович И.М., Абрамов Е.К., Лукоянов А.В. и др. Инструкция по гамма-каротажу на пластово-инфильтрационных месторождениях урана. - Алматы, 2009.
- 84 Кучин Я.И. Система комплексной интерпретации результатов геофизических исследований скважин на пластово-инфильтрационных месторождениях урана // Известия НАН РК. Серия геологическая. - 2009. - №4. - С. 67–70.
- 85 Разведочная ядерная геофизика: справочник геофизика. – М.: Недра, 1977. – 296 с.
- 86 Берикболов Б.Р. Месторождения урана Казахстана. - Алматы, 1996. – 219 с.
- 87 Номоконова Г.Г. Геофизические методы исследования месторождений урана: практикум. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007.- 52 с.

88 Горбатенко О.А. Основы геотехнологии. Лекции. – Алматы, 2012. - 31 с.

89 Баймурзаев Х.Р. Совершенствование параметров гидродинамического режима подземного выщелачивания урана при оптимизации сети геотехнологических скважин: дис. ... канд. техн. наук. - М., 2014. – 119 с.

90 Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах на пластово-инфильтрационных месторождениях урана. - Алматы, 2010. – 204 с.

91 Темирханова Р., Сыздыкова М. Подсчет стволовых запасов урана по данным гамма-каротажа в программе GIK // Журнал «Промышленность Казахстана».- Алматы, 2015. - С. 79-80.

92 Темирханова Р., Сыздыкова М. Использование метода индукционного каротажа при отработке урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа // Журнал «Промышленность Казахстана». - Алматы, 2015. - С. 81-82.