

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»,
Горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом»
Акционерное общество «ВНИПИпромтехнологии»

На правах рукописи



Гладышев Андрей Владимирович

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ УРАНОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность: 1.6.9 — «Геофизика»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
Солодов Игорь Николаевич

Москва — 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. РУДОНОСНОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УРАНОВЫХ РУД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	15
1.1. Геологическое строение палеодолинных урановых месторождений Хиагдинского рудного поля	15
1.2. Современное представление о происхождении месторождений ХРП.....	19
1.3. Месторождение Вершинное – основной объект исследования	20
1.4. Результаты изучения изменчивости радиологических свойств урановых руд.....	27
1.4.2. Минеральный состав и изотопная систематика урановых руд на месторождениях ХРП и отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ и U-Pb	29
1.4.3. Изучение поступления нерудного радона из гранитного фундамента в рудоносный горизонт.....	31
1.4.4. Оценка влияния бессульфатной и бескарбонатной минерализации подземных вод на миграцию радия.	35
1.4.5. Изучение изменчивости коэффициента U-Ra радиоактивного равновесия	39
1.5. Внедрение аппаратурно-методического комплекса для прямого определения содержания урана в естественном залегании руд.....	47
1.5.1. Метод прямого определения урана в рудах.	47
1.5.2. Аппаратурно-методический комплекс.	48
1.5.3. Достоверность определения подсчетных параметров рудных сечений.	50
1.6. Результаты исследований методом КНД-М на стадии вскрытия залежей технологическими скважинами	53
1.6.1. Результаты КНД-М на блоках В1.21 и В1.22 (верховье палеодолины).....	55
1.6.2. Результаты КНД-М на блоках В1.11 и В1.12 (центральная часть палеодолины).....	58
1.6.3. Результаты КНД-М на блоках В1.2 и В1.3 (низовье палеодолины).....	60
ГЛАВА 2. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСХОДНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УРАНА В РУДАХ ПО ГАММА-КАРОТАЖУ И КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ	

ДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ НЕДР В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (СПВ)	64
2.1. Реконструкция исходных содержаний урана на стадии отработки рудных залежей СПВ по данным гамма-каротажа	64
2.2. Выявление зон выщелачивания и переотложения урана	65
2.3. Результаты внедрения нерегулярных сетей вскрытия участков рудных залежей технологических скважин при контрастном распределении урана в рудах	70
2.3.1. Выбор оптимальных параметров регулярных сетей вскрытия рудных залежей технологическими скважинами.	70
2.3.2. Контрастное распределение урана в рудах в залежах месторождений ХРП.	77
2.3.3. Внедрение нерегулярных сетей вскрытия рудных залежей технологическими скважинами.	77
2.3.4. Результаты применения нерегулярных сетей в ходе отработки урановых рудных залежей	79
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ПОВЫШАЮЩЕЙ ПОЛНОТУ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХРП МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ	82
3.1. Применение геотехнологического математического моделирования (ГТММ) на объектах СПВ урана	82
3.2. Локализация целиков урановых руд методом ГТММ	84
3.3. Верификация методом КНД-М результатов локализации целиков урановых руд методом ГТММ	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	113
Приложение А	114
Приложение Б	118
Приложение Г	124
Приложение Д	145
Приложение Е	155
Приложение Ж	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы

Госкорпорация «Росатом» реализует программу увеличения атомной генерации в Российской Федерации (РФ) и проектов по строительству атомных электростанций (АЭС) за рубежом, в связи с чем возрастает потребность в природном уране.

Обеспечение этой потребности возможно за счет развития добычи урана скважинным подземным выщелачиванием из руд гидротермальных месторождений Забайкалья (Республика Бурятия). Этот урановый рудный регион — крупнейший в России. Здесь сосредоточены 16 урановорудных районов, в пределах которых выявлено большое количество месторождений и рудопроявлений урана [31].

Геологоразведочными работами АО «Сосновгео» в Баунтовском Эвенкийском районе Республики Бурятия выявлен Витимский урановый рудный район (ВУРР) с месторождениями, пригодными для отработки самым экономически выгодным и экологически безопасным способом — скважинным подземным выщелачиванием (СПВ). Ресурсный потенциал района, включающий 5 рудных узлов (РУ), оценивается в 255 тыс. т урана [47].

Забайкалье уже является основной сырьевой базой урана в России. В 2023 году 78 % добычи российского урана приходилось на предприятия АО «Хиагда» и ПАО «ППГХО» Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом». В последнее время половину концентрата природного урана производит АО «Хиагда» [32, 63].

В перспективе вклад Забайкальского региона в сырьевую базу урана, пригодную для освоения методом СПВ, будет только возрастать [32].

Витимский УРР включает пять рудных узлов (РУ). Основной объект исследований, центральный РУ — Хиагдинское рудное поле (ХРП) — включает восемь урановых месторождений палеодолинного типа: Хиагдинское, Вершинное, Восточное, Количиканское, Дыбрыньское, Намаруское, Кореткондинское и Тетрахское. В настоящее время в освоении

скважинным подземным выщелачиванием находятся первые шесть месторождений.

Разработка технологий, позволяющих достоверно оценивать промышленные запасы урана, вскрываемые технологическими скважинами, эффективно осваивать водородные месторождения урана скважинным подземным выщелачиванием, повышать качество и полноту освоения недр, — одна из важнейших задач. К таким технологиям относится используемый в данном исследовании комплекс, включающий гамма-каротаж (ГК), метод каротажа мгновенных нейтронов деления ^{235}U (КНД-М) и геотехнологическое математическое моделирование (ГТММ).

Степень разработанности темы исследований

Теоретические основы КНД-М, ядерно-геофизическая аппаратура, методика измерений, метрологическое обеспечение и методика поверки скважинной аппаратуры разработаны и внедрены в практику геологоразведочных работ выдающимися отечественными учеными и приборостроителями: И. М. Хайковичем, Г. И. Ганичевым, Н. А. Мац, Е. П. Боголюбовым, И. А. Титовым, Ю. Г. Полкановым, А. В. Легавко, В. Л. Шашкиным, Б. М. Колесовым, В. А. Золотницким, А. П. Кошелевым, В. Т. Перелыгиным, А. Л. Поляченко, А. Р. Миносьянцем и многими другими [10, 48–51 и др.].

По инициативе АО «Атомредметзолото» (ныне АО «Росатом Недра») и совместными усилиями специалистов ФГУ НПП «Геологоразведка», ФГУП «ВНИИА» им. Н. Л. Духова, ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем», ИФЗ РАН (ООО «НПФ УГФ») и АО «Русбурмаш» проведена глубокая модернизация аппаратурно-методического комплекса (АМК) каротажа мгновенных нейтронов деления ^{235}U в модификации АИНК-49. Комплекс разработан и внедрен в АО «Хиагда».

В основе использованного в работе геотехнологического математического моделирования лежит теория физико-химической гидродинамики, большой вклад в создание которой внесли отечественные

учёные Н. Н. Веригин, В. С. Голубев, Д. С. Коржинский, А. А. Куваев, А. В. Лехов, Л. Лукнер, В. А. Мироненко, С. П. Поздняков, А. А. Рошаль, В. Г. Румынин, Б. Н. Рыженко, В. М. Шестаков. Применительно к процессам СПВ физико-химическая гидродинамика получила развитие в работах В. С. Голубева и Г. Н. Кричевца. В последние годы непосредственно для рудных объектов ХРП при участии автора диссертации [12, 14, 17, 18] данный подход реализован в виде ГТММ коллективом учёных Северского технологического института НИЯУ МИФИ под руководством М. Д. Носкова [52, 53, 54].

Цели и задачи

Цель работы — повысить эффективность отработки гидрогенных палеодолинных месторождений урана методом скважинного подземного выщелачивания за счет совершенствования геолого-геофизических технологий и комплексирования с геотехнологическим математическим моделированием на стадиях вскрытия рудных залежей технологическими скважинами, на основном и завершающем этапе извлечения урана из недр; обеспечить полноту освоения недр.

Реализация данной цели предусматривает решение следующих **задач**.

1. Исследовать факторы, вызывающие нарушение радиоактивного равновесия в U-Ra- и Ra-Rn-системах, и их влияние на достоверность оценки промышленных запасов традиционным методом гамма-каротажа.
2. Оценить степень изменчивости радиологических свойств урановых руд месторождений Хиагдинского рудного поля.
3. Обосновать необходимость прямого определения содержания урана в рудах методом КНД-М и доказать, что гамма-каротаж не применим для определения остаточных содержаний урана в рудах на стадии отработки рудных залежей сернокислотным СПВ.
4. Обобщить результаты исследований в скважинах методом ГК и КНД-М на основных стадиях освоения урановых месторождений ХРП.

5. Разработать и внедрить в производство нерегулярные сети расположения технологических скважин на стадии отработки эксплуатационных блоков и верификации методом КНД-М результатов ГТММ.

6. Разработать и внедрить в производство метод локализации поиска целиков урановых руд на стадии завершения отработки эксплуатационных блоков СПВ применением комплекса методов: КНД-М, ГТММ и реконструированных исходных содержаний урана в рудах по ГК.

Объект исследований

Объектом исследований являются гидрогенные палеодолинные урановые месторождения Хиагдинского рудного поля.

Фактический материал

Фактологической основой исследований послужили: результаты изучения керновых проб 425 разведочных скважин на месторождении Вершинное (табл. 1), полученные в ходе геологоразведочных работ в 1992–2012 гг.; комплексные геофизические исследования в опытных скважинах (Приложение Г); исследования в 269 скважинах методами ГК и КНД-М и их интерпретация на месторождениях Хиагдинское, Вершинное, Количиканское, Источное и Дыбрынское (табл. 2).

Таблица 1. Виды и объемы лабораторных работ (пробы) на месторождении Вершинное

Вид анализа	Количество проб		
	Поиски	Разведка	Всего
Силикатный анализ	–	54	54
Спектральный анализ на 21 элемент	2121	1147	3268
Полуколичественный спектральный анализ на 42 элемента	35	1688	1723
Рентгеноспектральный анализ на уран,	2159	2835	4994
то же на торий	2159	2835	4994
Комплексный физический метод определения содержания радия в порошковых пробах	579	1688	2267

Таблица 2. Объекты и объемы выполненных работ в 2017–2024 годах

Стадия освоения	Год	Месторождение	Количество каротажей ГК и КНД-М
Вскрытие запасов технологическими скважинами	2017	Вершинное	11
	(внедрение КНД-М)	Хиагдинское	4
	2018	Вершинное	16
	2019	Вершинное	37
	2021	Количиканское	77
	2022	Количиканское	16
	2022	Вершинное	7
	2023	Дыбынское	15
	Итого:		183
Отработка СПВ эксплуатационных блоков	2018	Хиагдинское	9
	2019	Вершинное	3
		Источное	1
	2020	Хиагдинское	4
	2022	Вершинное	10
		Количиканское	2
2024	Количиканское	39	
	Итого:		68
Завершающая стадия отработки блоков СПВ	2017	Хиагдинское	4
	2020	Хиагдинское	13
	2022	Хиагдинское	1
	Итого:		18

Научная новизна:

- установлена изменчивость радиологических свойств урановых руд, обусловленная близсовременным возрастом урановых руд, особенностями химического состава подземных вод и поступлением радона из гранитного фундамента в рудоносный горизонт;
- доказана необходимость прямого определения урана в рудах методом каротажа мгновенных нейтронов деления ^{235}U в сложных радиологических условиях месторождений ХРП;
- обосновано применение нерегулярных сетей технологических скважин при контрастном распределении урана в рудах по площади рудных залежей;
- подтверждена для месторождений ХРП неприменимость ГК для определения остаточных содержаний U в выщелоченных рудах из-за низкой

растворимости сульфата Ra в сернокислой среде, но этот недостаток ГК на стадии отработки залежей СПВ становится полезной информацией, позволяющей с незначительной погрешностью ($< 5 \%$) реконструировать исходные содержания U в рудах и оценивать степень его извлечения из рудоносных отложений;

- прямыми измерениями доказана возможность верификации методом КНД-М результатов геотехнологического математического моделирования;
- впервые на урановых месторождениях ХРП проведена оценка остаточного и техногенно переотложенного урана в рудах и предложены способы рационального освоения недр.

Методология и методы диссертационного исследования

Методологическую основу диссертационной работы составляют современные представления о закономерностях формирования гидрогенных палеодолинных месторождений урана, их геологическом строении и гидрогеологических условиях залегания урановых руд, а также научные основы геофизических исследований скважин и геотехнологии скважинного подземного выщелачивания урана. Исследование выполнено на основе комплексного подхода, предусматривающего совместное использование геологических, геофизических, гидрогеохимических и геотехнологических данных.

Для решения поставленных задач использованы методы сбора, систематизации, анализа и обобщения материалов геологоразведочных и эксплуатационных работ, статистической обработки результатов исследований, а также формирования геолого-геофизических баз данных. В качестве основных геофизических методов применялись гамма-каротаж и каротаж мгновенных нейтронов деления в сочетании с геотехнологическим математическим моделированием.

Положения, выносимые на защиту

1. Включение в комплекс геофизических исследований скважин метода прямого определения концентраций урана на месте залегания руд

обеспечивает повышение достоверности оценки промышленных запасов урана в сложных радиологических условиях месторождений Хиагдинского рудного поля.

2. Способ количественной оценки степени извлечения урана из рудных залежей на основной стадии скважинного подземного выщелачивания, основанный на реконструкции исходных концентраций урана по данным гамма-каротажа и определении текущих концентраций урана по данным каротажа мгновенных нейтронов деления, позволяет оперативно применять методы интенсификации добычи и рационально вести процесс извлечения урана.

3. Методический приём выявления целиков остаточных концентраций урана и зон его техногенного переотложения на завершающей стадии скважинного подземного выщелачивания, основанный на определении концентраций урана по данным каротажа мгновенных нейтронов деления в сочетании с геотехнологическим математическим моделированием позволяет локализовать целики остаточных концентраций урана в рудах и минимизировать объемы бурения контрольных скважин.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в развитии представлений о радиологических особенностях гидрогенных палеодолинных урановых месторождений Хиагдинского рудного поля и влиянии этих особенностей на достоверность геофизической оценки промышленных запасов. Установлены закономерности изменчивости радиологических свойств урановых руд, обусловленные близсовременным возрастом руд, химическим составом подземных вод и поступлением радона из гранитного фундамента в рудоносный горизонт. Обоснована неприменимость традиционного гамма-каротажа для определения остаточных содержаний урана в выщелоченных рудах в условиях сернокислотного СПВ и показана принципиальная возможность реконструкции исходных содержаний урана по данным ГК. Получены новые данные о достоверности и информативности

КНД-М как метода прямого определения содержаний урана *in situ* и верификации геотехнологических математических моделей.

На стадии вскрытия рудных залежей технологическими скважинами КНД-М повышает достоверность оценки промышленных запасов U и исключает погрешности, связанные с нарушением радиоактивного равновесия в системах U-Ra и Ra-Rn. Технологический и экономический эффект от применения КНД-М достигнут при бурении контрольных, добуриваемых и перебуриваемых скважин за счет исключения бурения скважин с керном, геологического опробования керна, химико-аналитических и радиометрических определений урана, радия, калия и тория. Достигнутый в 2017–2024 гг экономический эффект от внедрения КНД-М составил 300,9 млн руб. При внедрении нерегулярных сетей вскрытия рудных залежей на месторождениях Хиагдинское, Вершинное, Источное и Количиканское получен экономический эффект в размере 2176,5 млн руб.

Впервые использован комплекс геофизических исследований скважин в сочетании с ГТММ для локализации поиска целиков не отработанных СПВ руд и предложены способы доработки остаточных запасов U.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к применению на других водородных урановых месторождениях со сходными горно-геологическими условиями.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов исследований основана на поверке скважинной аппаратуры и тарировки генератора нейтронов в сертифицированных метрологических центрах, на регулярной калибровке мониторов АМК КНД-М, поверке аппаратуры в специально оборудованных контрольно-поверочных скважинах с эталонным распределением урана в рудах, а также на отборе достаточного количества керновых проб для верификации результатов каротажных исследований в скважинах.

Результаты диссертации были доложены на IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой

промышленности» 7 ноября 2019 (Алматы) [19]; на VII Международной научно-технической конференции «Экологические аспекты горного и перерабатывающего производства» в 2022 г. (Москва); на V Международном симпозиуме «Уран: геология, ресурсы, производство» в ФГБУ «ВИМС» в 2021 г. (Москва) [54]; на XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометальной промышленности» 16 мая 2024 г. (Алматы) [25]; на VI Международном симпозиуме: «Уран: геология, ресурсы, производство 22 апреля 2025 г. в ФГБУ «ВИМС» (Москва).

Личный вклад автора включает: формулировка целей и постановка задач исследований [24, 32]; сбор, анализ и обобщение геолого-геофизической информации [11, 23–25]; подготовка исходных данных и участие в разработке алгоритмов для создания комплекса программ для проектирования вскрытия и управления СПВ (Приложение Д) [3, 6, 12–18, 20]; организация натурных исследований; организация и участие в опытно-промышленных испытаниях разработанных автором технологий, подготовка выводов [21–23, 63–65]; подготовка исходных данных, постановка задач и обсуждение результатов ГТММ [19, 25, 26, 54, 55].

По результатам выполненных работ опубликовано 24 научных работы, в том числе в соавторстве подготовлены отдельные разделы двух монографий по скважинному подземному выщелачиванию урана, **6** статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, **10** свидетельств на программы для ЭВМ.

Объём и структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и содержит 113 страниц машинописного текста, включая 44 рисунка, 18 таблиц, список использованной литературы из 83 наименований и 6 приложений.

В первой главе описаны объекты исследований — гидрогенные палеодолинные месторождения урана ХРП, их геологическое строение, литология, гидрогеологические и геокриологические условия, морфология и рудоносность залежей. Дан краткий обзор современного представления о

происхождении месторождений ХРП. Приведено обоснование необходимости применения прямого определения урана на месте залегания урановых руд методом КНД-М в условиях высокой изменчивости радиологических свойств рудоносных отложений. Приведены результаты применения метода КНД-М на стадии вскрытия рудных залежей технологическими скважинами, доказывающие повышение достоверности оценки промышленных запасов.

Во второй главе результатами натуральных испытаний продемонстрировано, что при контрастном распределении урана применение нерегулярных сетей вскрытия рудных залежей повышает эффективность СПВ. Обоснована возможность реконструкции исходных содержаний урана по данным гамма-каротажа на стадии отработки СПВ. Показано, что совместное использование ГК и КНД-М позволяет устанавливать зоны выщелачивания, переотложения и остаточной рудной минерализации и количественно оценивать степень извлечения урана. Это дает возможность рационально вести процесс извлечения урана из недр методом СПВ.

Третья глава посвящена повышению полноты освоения недр при СПВ методом выявления и локализации целиков не отработанных сернокислыми растворами урановых руд на основе ГТММ в комплексе с ГК и КНД-М. КНД-М позволяет верифицировать результаты ГТММ и оценить остаточные концентрации урана в целиках. Предложенная технология минимизирует объемы бурения контрольных скважин и обеспечивает полноту отработки рудных залежей. В этом заключается рациональное освоение недр (рациональное недропользование).

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю д-ру геол.-минерал. наук И. Н. Солодову за постоянное руководство, поддержку и обсуждение полученных результатов, главному геофизику АО «Русбурмаш» А. Р. Миносьянцу за поддержку и консультации в ходе подготовки работы, д-ру физ.-мат. наук профессору М. Д. Носкову за поддержку, совместную

работу и неоценимые консультации. Особая благодарность д-ру техн. наук Е. Н. Камневу и Т. Ю. Лебедевой за неоценимую помощь, всестороннюю поддержку и критические замечания. За практическую помощь и содержательные консультации диссертант искренне благодарен сотрудникам АО «Хиагда», АО «Русбурмаш», АО «ВНИПИпромтехнологии» и СТИ НИЯУ «МИФИ».

ГЛАВА 1. РУДОНОСНОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УРАНОВЫХ РУД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

1.1. Геологическое строение палеодолинных урановых месторождений Хиагдинского рудного поля

Хиагдинское рудное поле — центральный рудный узел Витимского уранового рудного района (рис. 1.1). ВУРР занимает площадь около 5 тыс. км² и является самым крупным рудным объектом в России с месторождениями, потенциально пригодными для отработки способом СПВ. ВУРР расположен на территории Баунтовского эвенкийского района Республики Бурятия в пределах Витимского плоскогорья на водоразделе рек Витим, Большой Амалат, Амалат и Ципикан.

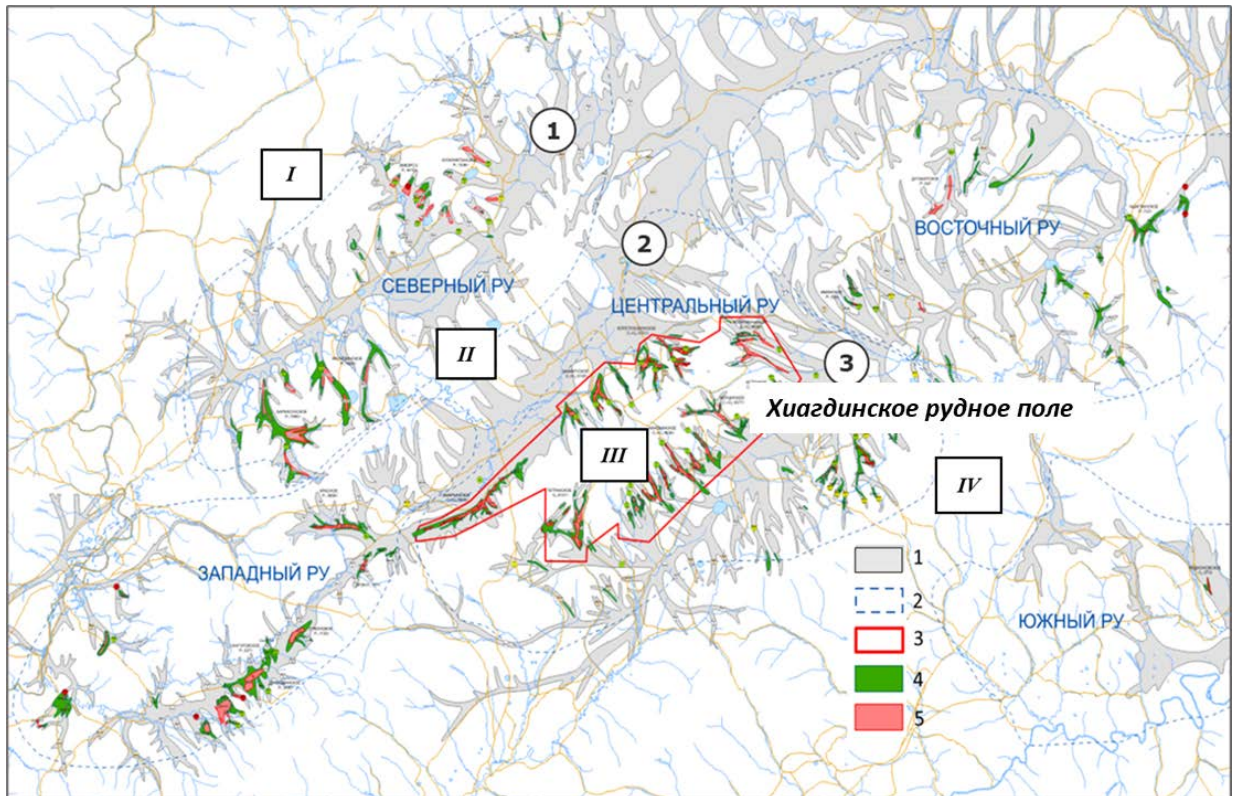


Рисунок 1.1. Витимский УРР. Центральный рудный узел — Хиагдинское рудное поле. Палеодолины первого порядка: Хойготская (1), Аталангинская (2) и Амалатская (3) и разделяющие их Северное (I), Центральное (II), Байсыханское (III) и Ингурское (IV) поднятия [1].

1 — палеодолины первого, второго и третьего порядков; 2 — рудные узлы; 3 — ХРП; 4 — некондиционные урановые руды; 5 — кондиционные урановые руды.

Обобщение в 2016 году результатов геологоразведочных работ, проведенных с 1977 года на Амалатском плато базальтов, позволило БФ «Сосновгеология» в составе ВУРР выделить пять рудных узлов: Центральный, Южный, Западный, Северный, и Восточный с запасами С1+С2 54,1 тыс. т и прогнозными ресурсами 275 тыс. т. [60]. По более поздней оценке [47], ресурсный потенциал ВУРР снизился до 255 тыс. т урана.

Основу минерально-сырьевой базы района составляют около 90 урановых рудных залежей месторождений витимского типа в неогеновых палеодолинах, врезанных в позднепалеозойский гранитный фундамент и перекрытых покровом неоген-четвертичных эффузивов основного состава Амалатского плато базальтов. Рудоносные палеорусла врезаны в гранитный фундамент на склонах поднятий и развиваются вдоль зон домиоценовых тектонических разрывных нарушений. Рудовмещающие отложения — рыхлые аллювиальные, реже пролювиальные и делювиальные, терригенные осадки, содержащие углефицированные растительные остатки и сульфиды железа.

Неогеновая палеоречная сеть принадлежит трем палеодолинам первого порядка — Хойготская, Аталангинская, Амалатская — с многочисленными притоками второго и третьего порядков (см. рис. 1.1). Разделяют их Северное, Центральное, Байсыханское и Ингурское поднятия. Крупные палеореки с хорошо проработанными руслами, поймами и старицами, пойменными болотами и озерами имеют ширину от 1,5–2 до 5–7 км с продольным уклоном первые метры на километр. Палеопритоки второго и третьего порядков характеризуются следующими параметрами: длина от 1–2 до 10–15 км, ширина от сотни метров до 1–2 км, уклон 10–70 м/км. От верховьев палеорек развиваются зоны грунтового окисления, на выклинивании которых сформировались лентообразные урановые залежи, повторяющие контуры палеодолин. Протяженность рудных залежей — первые километры, ширина от 35 до 450 м, мощность — от первых метров до 28 м [56]. Содержание урана в рудах колеблется от бортового 0,01 до 4,5 % при среднем около 0,05 %. Урановая минерализация представлена тонкодисперсными выделениями нингиоита [33],

крайне редко коффинита и настурана. Удельная площадная продуктивность залежей по урану находится в диапазоне 2,5–37 кг/м², иногда достигает 87 кг/м² [55].

Осадочные образования характеризуются большим разнообразием литологического состава: в краевых частях палеодолин и овражно-балочной сети притоков преобладают делювиально-пролювиальные комплексы; наиболее широко распространенные русловые фации представлены пойменными глинисто-алевритовыми песками с примесью пеплового материала и стрежневыми песками с гравием и галькой; пойменные, старичные фации — пески, алевриты и глины с содержанием органики ($C_{орг}$) от 0,8 до 25 %; болотные фации — преимущественно тонкообломочные отложения с растительным детритом, фрагментами растений и торфом ($C_{орг}$ до 20–30 %) [60].

Позднепалеозойские граниты витимканского комплекса (PZ_{2-3V}), слагающие фундамент, разнообразны по составу и структуре: биотит-роговообманковые порфиroidные и среднезернистые лейко- и мезократовые; гигантопорфиroidные меланократовые разности с таблитчатыми кристаллами микроклина размером до 5 см; гранодиориты; реже интрузивные тела, сложенные граносиенитами, сиенитами, аплитовидными и чернокварцевыми равномернозернистыми гранитами.

Объемным источником урана в рудах месторождений Витимского УРР являются гранитоиды витимканского и, в меньшей степени, баргузинского комплексов (содержание урана 3–12 г/т) [42].

Хиагдинское рудное поле включает 8 месторождений урана палеодолинного типа: Хиагдинское, Вершинное, Восточное, Количиканское, Дыбрыньское, Намаруское, Кореткондинское, и Тетрахское (рис. 1.2). Первые шесть месторождений отрабатываются АО «Хиагда» скважинным подземным выщелачиванием.

Месторождения ХРП образуют единый рудный объект, включающий 37 урановых рудных залежей на северо-западном и юго-восточном склонах Байсыханского поднятия. Месторождения ХРП содержат 47 тыс. т запасов урана

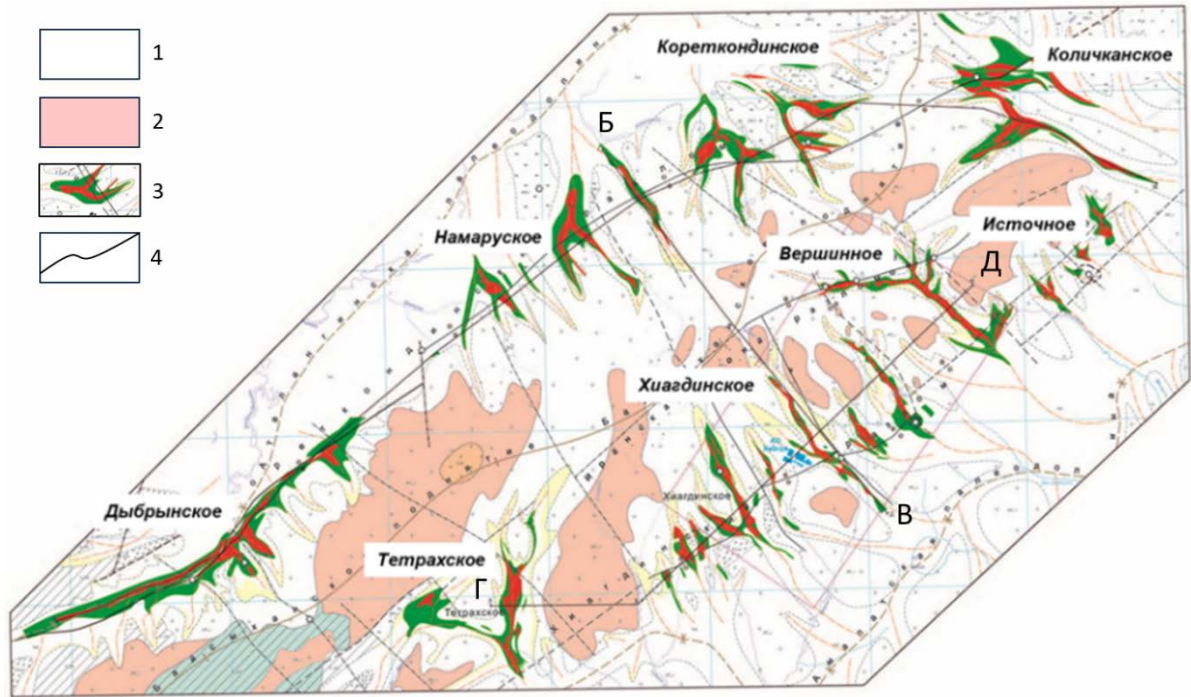


Рисунок 1.2. Рудно-геологическая карта урановых месторождений Хиагдинского рудного поля с дополнениями и изменениями [54].

1 — неогеновые осадочные образования; 2 — гранитоиды витимсканского комплекса, выходящие на дневную поверхность; 3 — урановая рудная залежь с рудами: красное — кондиционные, зеленое — некондиционные; 4 — тектонические нарушения

промышленных категорий. Они объединены в единый рудный объект, так как схожи по геологическому строению, литологии рудоносных осадочных отложений, вещественному составу урановых руд, гидрогеологическим условиям и геотехнологическим характеристикам.

В поперечном разрезе Б–В Байсыханское поднятие имеет ассиметричное строение с пологим юго-восточным и крутым северо-западным склонами (рис. 1.3). Геологическое строение палеодолин и глубина вреза в гранитный фундамент видны на геологическом разрезе Г–Д (рис. 1.3) вдоль юго-восточного склона поднятия.

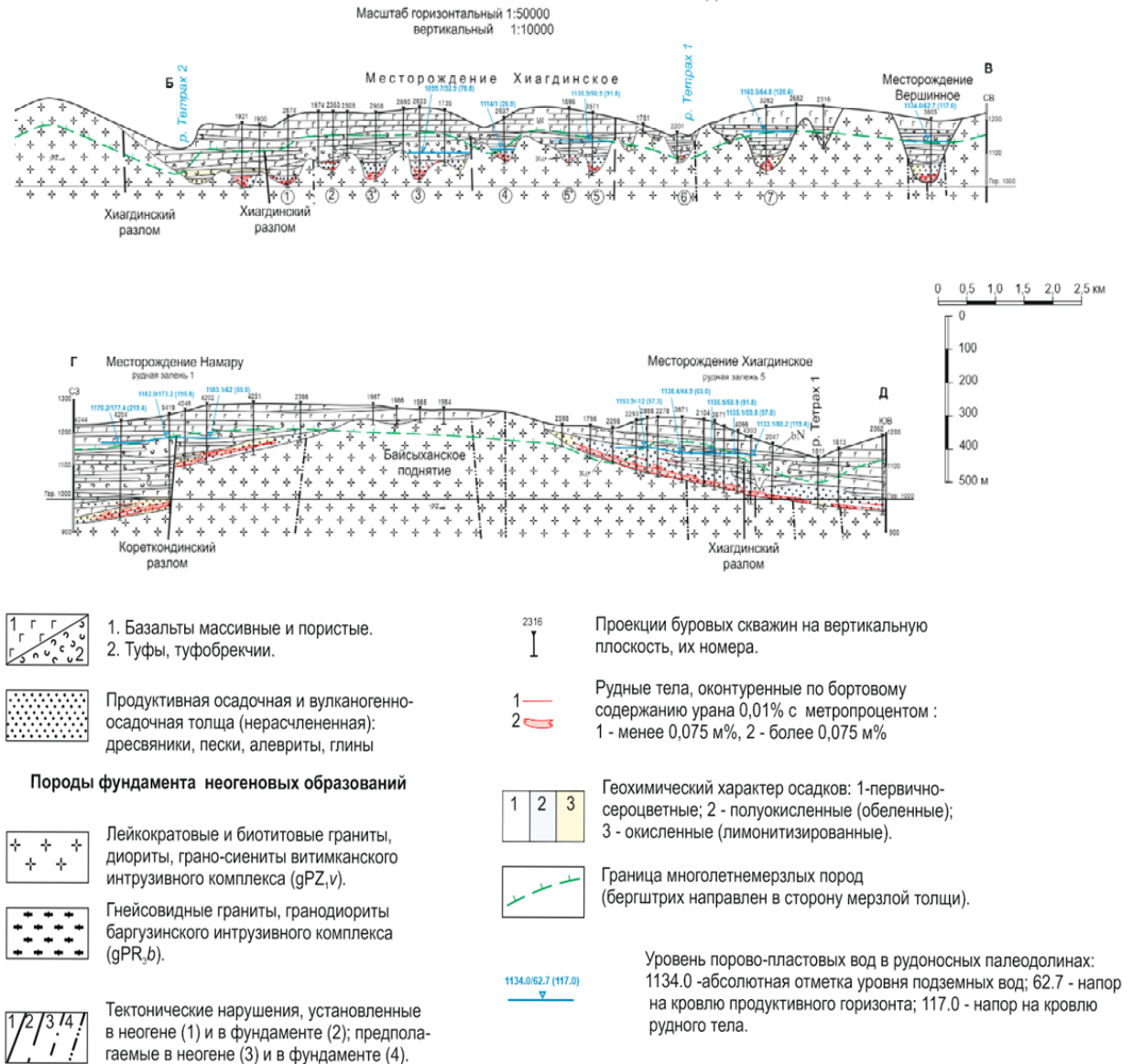


Рисунок 1.3. Рудно-геологические разрезы вдоль юго-восточного склона (линия разреза В–Г на рис. 1.2) и через центральную часть Байсыханского поднятия (линия Б–В) [53]

1.2. Современное представление о происхождении месторождений ХРП

Большинство исследователей урановые месторождения Хиагдинского рудного поля относят к экзогенному эпигенетическому классу палеодолинного типа грунтово-пластового окисления [44, 41, 42, 43, 46, 60]. Рядом специалистов этот тип гидрогенных месторождений отнесен к грунтово-инфильтрационному подклассу [39]. С. Ф. Винокуров [9] выделил эти месторождения в самостоятельную 5 группу гидрогенных урановых рудных объектов и назвал их «инфильтрационно-эксфильтрационными». Значительно меньшая часть

специалистов в области урановой геологии придерживается эндогенной гидротермальной теории рудообразования на этих месторождениях [9, 36, 45, 56], в которой восходящим из фундамента гидротермальным углекислым подземным водам отводится главенствующая роль в урановом рудообразовании и вторичных пострудных изменениях литологической среды восстановительной направленности.

Концепция рудообразования на месторождениях ХРП, предложенная авторами работ [69–71], носит дискуссионный характер, но наиболее полно объясняет изменчивость радиологических свойств урановых руд на характеризуемом объекте. Согласно этой концепции, формирование урановых руд началось 16 млн лет назад с момента начала образования речных отложений на склонах Байсыханского поднятия и продолжается до сих пор. Накопление урана происходит в постоянно действующем неподвижном восстановительном геохимическом барьере. Восстановителями выступают сероводород, водород и углеводороды в ассоциации с водородными бактериями в составе углекислых подземных вод, повсеместно на территории ХРП восходящие из фундамента и разгружающиеся в рудоносный горизонт с разной интенсивностью [69–71]. В связи с этим палеодолинные урановые месторождения витимского типа следует, согласно предложению С. Ф. Винокурова, называть «инфильтрационно-эксфильтрационными» [9].

Влияние углекислых подземных вод на СПВ урана на месторождениях ХРП рассмотрено в статье [68].

1.3. Месторождение Вершинное – основной объект исследования

Далее описание геологического строения, гидрогеологических условий, вещественного состава рудоносных отложений, изотопного состава урана, радиологических характеристик урановых руд и примеры применения КНД-М на основных стадиях освоения урановых месторождений способом СПВ приводятся на данных наиболее изученного месторождения Вершинное [43, 54, 69–71, 74] (**рис. 1.4 и 1.5**).

1.3.1. Геологическое строение. В геологическом разрезе месторождения снизу вверх залегают позднепалеозойские граниты витимканского комплекса (PZ_{2-3V}), непосредственно на глинистой коре выветривания гранитов располагаются средне-позднемиоценовые аллювиальные рудоносные отложения нижней джилиндинской подсвиты ($N_1^{2-3}dz_1$), которые выше сменяются озерно-болотными тонкозернистыми отложениями с углефицированной органикой, пластами и линзами вулканитов основного состава верхней джилиндинской подсвиты ($N_1^{2-3}dz_2$), перекрытыми несплошным покровом пироксен-оливиновых базальтов (N_2hg-Q_4).

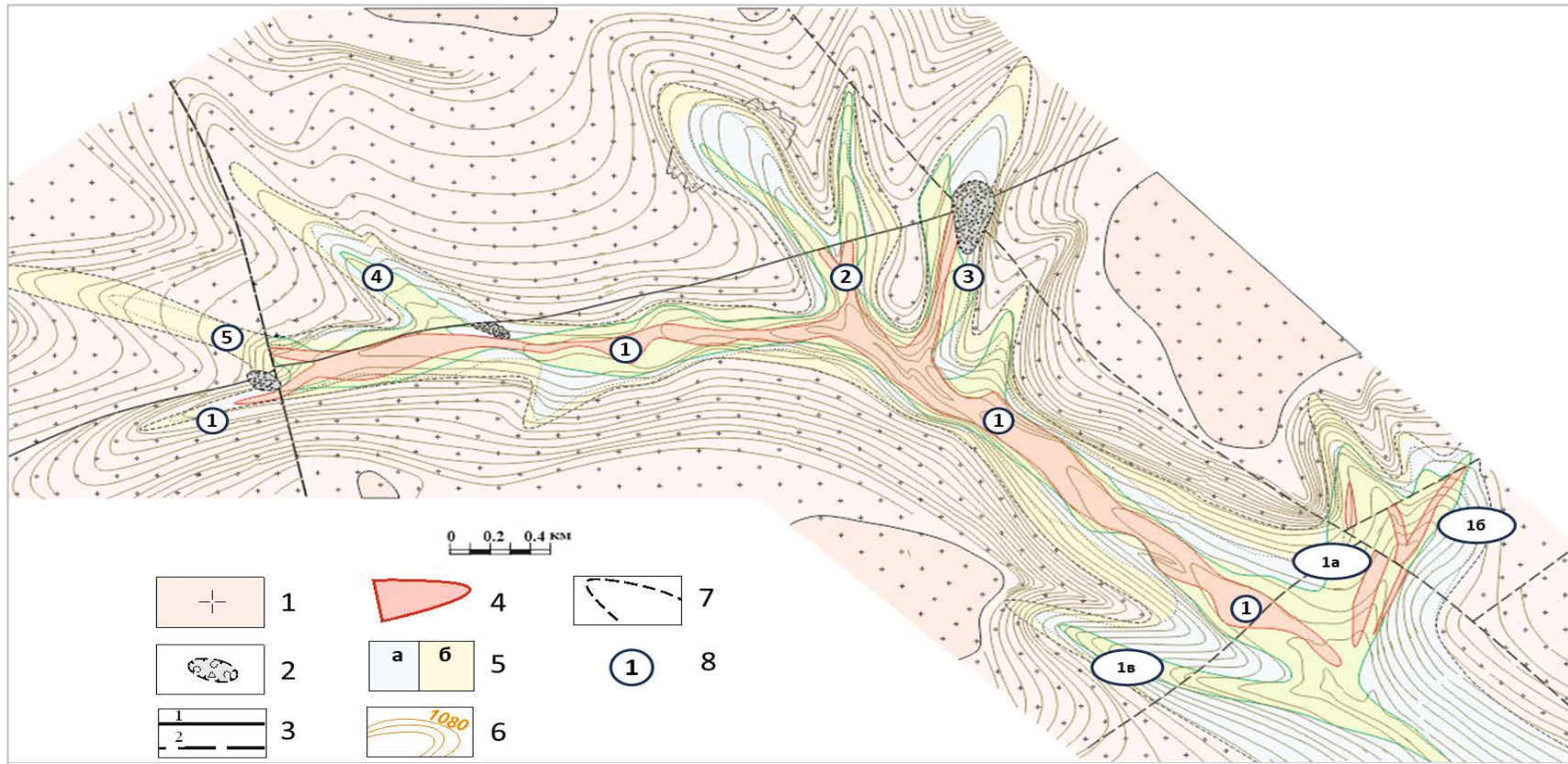


Рисунок 1.4. Геолого-структурная карта месторождения Вершинное с дополнениями и уточнениями [54]

- 1 — позднепалеозойские гранитоиды витимканского комплекса; 2 — вулканический аппарат центрального типа;
 3 — тектонические разрывные нарушения: 1) — установленные, 2) — предполагаемые;
 4 — урановая рудная залежь (сероцветные отложения);
 5 — геохимические типы осадочных пород: а — осветленные (восстановленные), б — желтоцветные (окисленные);
 7 — контур палеодолины; 8 — номер рудоносной палеодолины и рудной залежи.

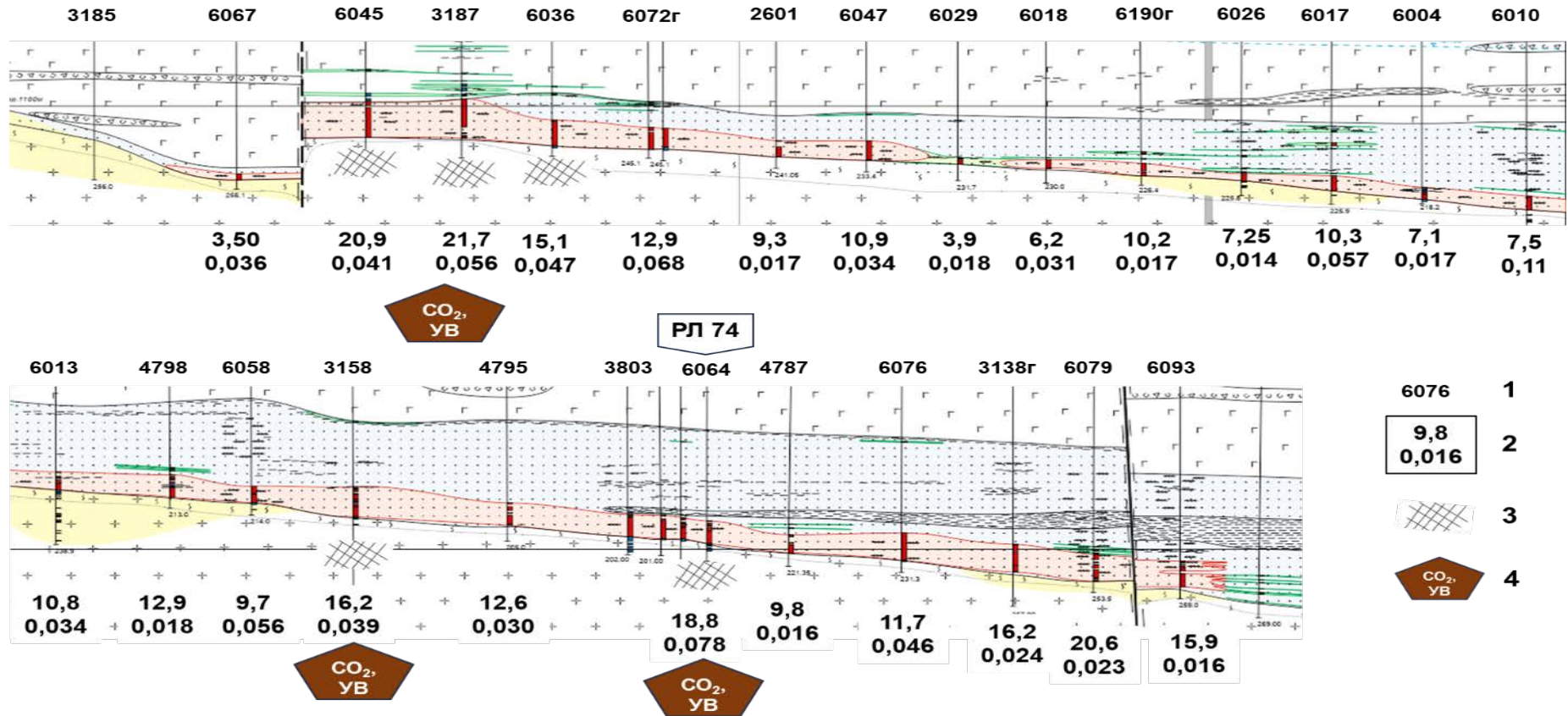


Рисунок 1.5 — Продольный разрез вдоль осевой линии залежи В1 и зоны повышенной трещиноватости тектонической нарушенности, по которым, по данным гидрогеохимических исследований, проникают углекислые подземные воды, содержащие восстановители.

- 1 — номер разведочной скважины; 2 — рудонасыщенность: в числителе — удельная линейная продуктивность (мтр-процент — мс), в знаменателе — среднее содержание урана в рудном сечении; 3 — зона тектонической нарушенности гранитов фундамента; 4 — зона инъекции углекислых глубинных подземных вод из фундамента в рудоносный горизонт

Во всем многообразии литолого-фациального состава осадков нижней джилиндинской свиты наблюдаются определенные закономерности их распределения [56]. Верховье палеодолины В1 и ее прибортовые части полностью или в значительной степени выполнены пролювиально-делювиальными отложениями. В средней части палеодолины преобладают аллювиальные осадки, а в нижней — аллювиальные и озерные отложения. Мощность терригенных отложений изменяется от первых метров до 55 м и закономерно увеличивается от бортов к центру и вниз от верховья к низовью палеодолины.

В делювиальных (склоновых) отложениях отсутствует сортировка и окатанность обломочного материала. Их состав характеризуется большим разнообразием. Породы состоят обычно из щебенистого, редко глыбового материала с дресвяно-глинистой или алевритоглинистой заполняющей массой. В направлении к центральной (талъвеговой) части палеодолины они фациально сменяются относительно сортированными песчаными отложениями, содержащими гравийный, дресвяный материал с прослоями глин и алевритов. Мощность осадков делювиального комплекса в прибортовых частях — 9–13 м, а в талъвеге сокращается до 2–3 м. Среди отложений комплекса в бортах палеодолины встречаются маломощные (менее 1 м) линзы оруденения с содержанием урана первые сотые доли процента [56].

Для аллювиальных отложений нижней толщи джилиндинской свиты характерен аркозовый состав, отсутствие литификации, слабая окатанность и плохая сортированность обломочного материала, отсутствие карбонатов. Содержание CO_2 обычно не превышает 0,1 %; в единичных пробах песков, отобранных, как правило, вблизи подошвы базальтов, CO_2 увеличивается до 0,8–5,6 %, в глинах до 6,5 % [55]. Увеличение содержания CO_2 в аллювиальных отложениях в направлении от подошвы к кровле рудоносного горизонта указывает на то, что в этом направлении происходило падение гидростатического и, как следствие, парциального давления CO_2 . Источником образования карбонатов (в основном сидеритов) являлись железистые

глубинные углекислые подземные воды. Глинистая составляющая осадков представлена каолинитом, в меньшей степени гидрослюдами. Базальный слой аллювия обогащен ураном. Содержания урана, преимущественно в виде фосфатов, достигают 3,5 %.

В выше залегающих болотно-озерных отложениях верхней джилиндинской подсвиты с высоким показателем $C_{орг}$ (до 20–30 %) обнаружены лишь локальные участки с урановой минерализацией, не имеющей промышленного значения.

1.3.2. Морфология и рудоносность урановых рудных залежей. Рудные залежи в плане имеют ленточную форму, повторяя контуры палеодолин (см. **рис. 1.2 и 1.4**). В поперечном разрезе рудоносного горизонта преобладает линзовидная морфология рудных тел.

Урановые руды в целом бедные. Среднее содержание урана в них по месторождению Вершинное — 0,037 %. При этом рудонасыщенность по латерали залежи В1 (**рис. 1.4**) изменяется в широком диапазоне: удельная линейная продуктивность в рудных сечениях разведочных скважин имеет разброс от 3,5 до 21,7 м%, а средних содержаний урана — от 0,016 до 0,11 % (**рис. 1.5**). Максимальные содержания урана в рудных сечениях разведочных скважин в поперечном разрезе по разведочной линии РЛ 74 изменяются от 0,013 % до 0,097 % (**рис. 1.6**).

Анализируя эти данные, нетрудно заметить, что максимальные концентрации урана в рудах приурочены к тальвеговой части палеооврагов и зонам повышенной тектонической нарушенности гранитного фундамента.

Это хорошо согласуется с концепцией происхождения месторождений витимского типа, согласно которой накопление урана происходит в неподвижном восстановительном геохимическом барьере, формируемом восходящими из фундамента углекислыми глубинными водами, содержащими восстановители [72].

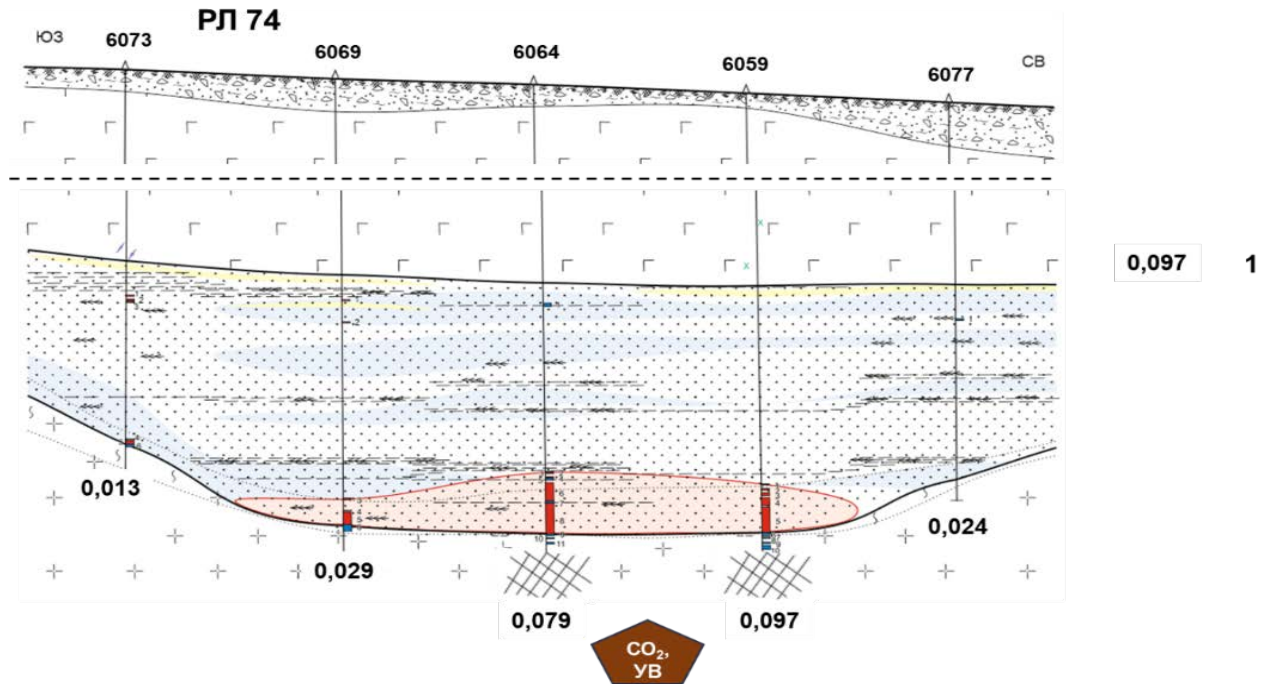


Рисунок 1.6. Поперечный геологический разрез по РЛ 74 через центральную часть рудной залежи В1 месторождения Вершинное.

Условные обозначения те же, что и на рис. 1.3.

1 — максимальное содержание урана в рудном сечении, в %

1.3.3. Гидрогеологическое строение. В гидрогеологическом разрезе сверху вниз выделяются четыре водоносных горизонта, разделенных относительными водоупорами (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Водоносные горизонты и относительные водоупоры на месторождении Вершинное

Слой	Литологическая характеристика	Гидрогеологическая характеристика
1	Дресва, гравелиты, песок, трещиноватые базальты	Сезонный водоносный горизонт
I	Многолетнемерзлые трещиноватые базальты	Относительный водоупор
2	Трещиноватые базальты, вулканогенно-осадочные туфы, алевриты, пески	Базальтовый водоносный горизонт
II	Массивные монолитные и слабо трещиноватые базальты	Относительный водоупор
3	Пески гравелитистые песчано-глинистые	Рудоносный водоносный горизонт
IV	Глины коры выветривания (коллювий)	Относительный водоупор
4	Зоны трещиноватости и разломы фундамента	Водоносный горизонт

1.3.4. Геокриологические условия. Многолетнемерзлые породы (ММП) распространены на глубину 40–90 м. Мерзлота льдистая. В зону ММП в основном вовлечены базальты, а также вулканогенно-осадочные образования и аллювиальные рудоносные отложения в верховьях палеодолины В1. Часть запасов урановых руд находится в зоне ММП и переведена в технологический забаланс.

1.4. Результаты изучения изменчивости радиологических свойств урановых руд

Традиционно подсчет запасов урана по результатам разведки гидрогенных месторождений урана ведется на основе косвенного метода определения содержания урана по их гамма-активности. Для этого применяется гамма-каротаж скважин. Гамма-излучение в рудах возникает в результате радиоактивного распада ^{226}Ra как показано на схеме (рис. 1.7). Поэтому гамма-каротажем измеряется активность радия, а не урана. Для определения содержания урана в рудах необходимо определить коэффициент Ra/U радиоактивного равновесия — K_{pp} . Он определяется по формуле: $K_{\text{pp}} = q_{\text{Ra}}/q_{\text{U}}$ в относительных единицах. Здесь q_{Ra} — массовая доля радия в единицах равновесного урана.



Рисунок 1.7. Радиоактивные ряды урана и радия

В состоянии радиоактивного равновесия активность 1 г урана равна активности $3,4 \cdot 10^{-7}$ г Ra [78]. Как будет обсуждено далее, на погрешность определения K_{RR} в молодых рудах месторождений Хиагдинского рудного поля влияет большое число факторов. Но прежде остановимся на современном представлении о геохронологии формирования аллювиальных рудоносных отложений.

1.4.1. Хронология событий на изучаемых месторождениях ХРП

Байсыханское поднятие и современный рельеф фундамента на территории ХРП сформировались в конце олигоцена — 23 млн лет назад [55]. К этому времени образовались зоны разуплотнения — дорудные разрывные тектонические нарушения северо-западного простирания (см. **рис. 1.2 и 1.3**). По системе этих разломов и зон тектонической трещиноватости закладывались палеодолины (овражно-балочная сеть), расчленявшие склоны холмистых гряд. В период с 23 до 16 млн лет назад — перерыв осадконакопления и продолжение формирования коры выветривания (рудоподготовительный этап). Палеодолины на склонах поднятия в течение 16–12,5 млн лет заполнялись аллювиально-пролювиальными и делювиальными отложениями. В этот период в водоносном горизонте существовали грунтовые условия питания, транзита и разгрузки подземных вод в стволы Аталангинскую и Амалатскую палеодолины. Центральная часть Байсыханского поднятия играла и продолжает играть роль области питания (см. **рис. 1.3**) подземных вод в водоносных рудоносных горизонтах в палеодолинах.

Во время формирования (12,5–5,0 млн лет назад) водоупорных болотно-озерных слабо водопроницаемых алевро-пелитовых и песчано-глинистых отложений с прослоями вулканитов основного состава верхней джилиндинской подсветы (вулканогенно-осадочная толща) гидрогеологические условия в рудоносном горизонте нижней джилиндинской подсветы сменились на пластовые и начали формироваться промышленные (кондиционные) урановые руды. Режим фильтрации подземных вод из безнапорного стал безнапорно-напорным и напорным. В результате водообмен в рудоносных горизонтах из

активного сменился замедленным. Скорость движения подземных вод — метры в год.

1.4.2. Минеральный состав и изотопная систематика урановых руд на месторождениях ХРП и отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ и U-Pb

Урановые руды представлены преимущественно аморфными и кристаллическими фосфатами четырехвалентного урана [32], образующимися в сильно восстановительной среде — Eh составляет $-400 \dots -200$ мВ [70].

Изотопная систематика урановых руд изучена специалистами ИГЕМ РАН [28, 29, 30, 80] по керну отдельных разведочных скважин на месторождениях Вершинное (табл. 1.2 и рис. 1.8), Дыбынское и Намаруское.

Таблица 1.2. Отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ и U-Pb датирование проб из скв. 6045 месторождения Вершинное [77]

№	Образец	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	$\delta^{238}\text{U}$ (‰)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ($\times 10^5$)	$K_{234/238}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$T(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$ (Ma)	$T(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$ (Ma)
1	6045/208.1	137,722	-0,83	5,9	1,07	21,83	7,1	7,3
2	6045/209.3	137,772	-0,47	5,9	1,07	40,53	12,3	9,3
3	6045/210.4	137,714	-0,89	5,45	0,99	72,78	24,4	17,5
4	6045/210.6	137,698	-1,01	4,66	0,85	22,92	10,8	11,6
5	6045/221.8	137,686	-1,1	5,27	0,96	34,45	20,9	19,6
6	6045/223.6	137,718	-0,86	4,9	0,89	26,59	17,3	21
7	6045/224.0	137,689	-1,07	5,29	0,96	20,34	14,6	8,3
8	6045/227.7	137,677	-1,16	5,94	1,08	20,29	7,2	8,3
9	6045/229.2	137,377	-3,34	7,32	1,33	19,48	4,6	6,1
10	6045/229.8	137,607	-1,67	5,43	0,99	20,69	8,5	5,7

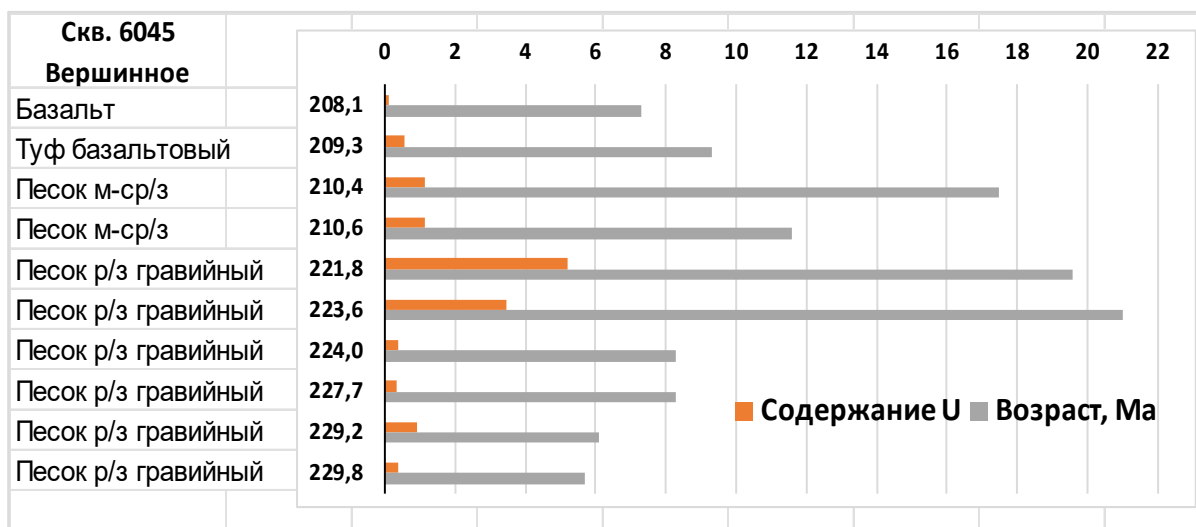


Рисунок 1.8. Изменение по глубине (м) рудного сечения в скв. 6045 содержания урана ($10^{-1}\%$) и возраста урановых руд (Ma — млн лет)

Датировка урановых руд по данным U-Pb изотопных исследований изменяется в широком диапазоне 4,6–24,4 млн лет назад. Такой большой диапазон геохронологии нами объясняется постоянным неравномерным по латерали и вертикали горизонта привнесом в рудную зону современного урана и подвижностью ^{234}U в слабокислой углекислой среде [24, 80].

Отклонения отношений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ от равновесных, которые для отдельных проб превышают 50 %, наряду с существенными вариациями изотопного возраста, свидетельствуют о том, что не было консервации урановых руд с образованием базальтового покрова и ММП на месторождениях, а имело место накопление U, в том числе, в течение четвертичного периода.

Современное накопление урана в неподвижном восстановительном геохимическом барьере доказано гидрогеохимическими исследованиями на месторождении Вершинное (рис. 1.9) [69].

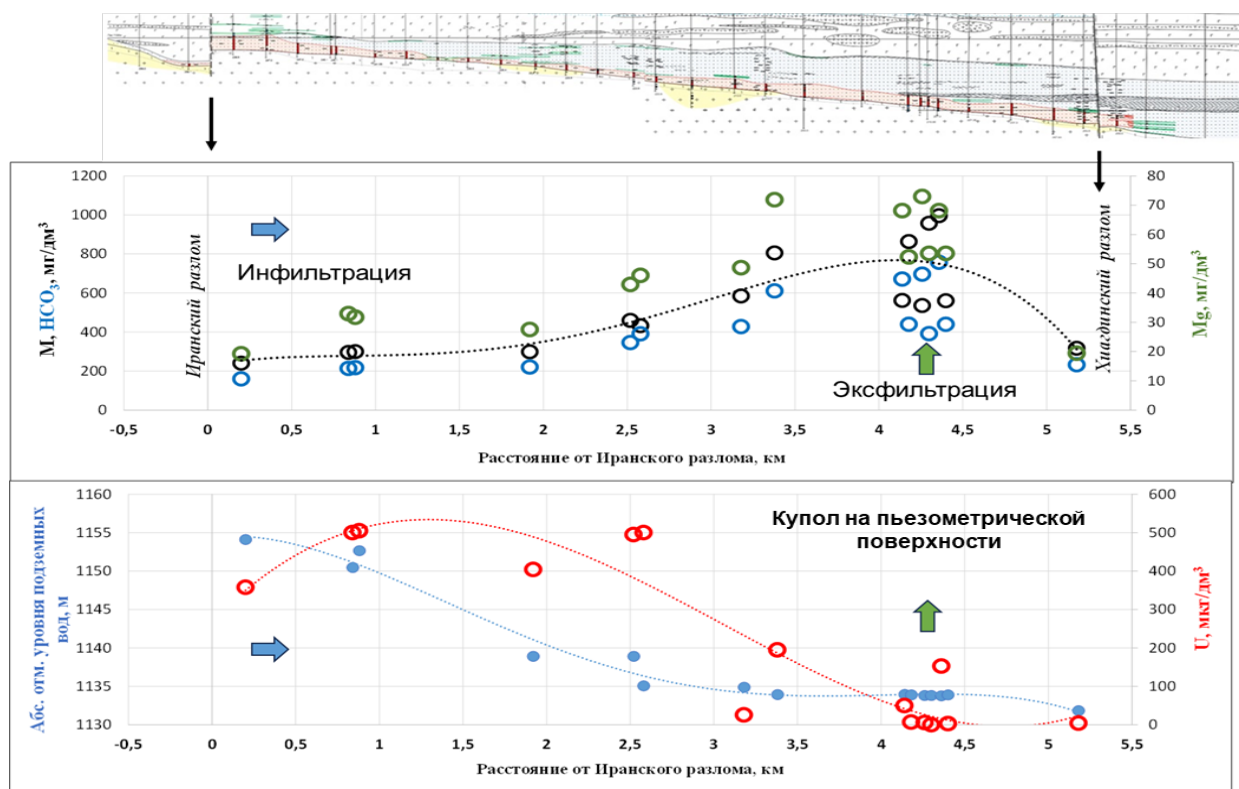


Рисунок 1.9. Изменение вдоль продольного разреза рудоносного горизонта (см. рис. 1.5) месторождения Вершинное содержания гидрокарбоната, магния и урана в подземных водах и абсолютных отметок их пьезометрической поверхности [71].

1.4.3. Изучение поступления нерудного радона из гранитного фундамента в рудоносный горизонт. Гранитоиды Байсыханского поднятия являются небольшой частью Ангаро-Витимского батолита, занимающего всю Западную и Северо-Западную площадь Забайкалья [5, 79]. Согласно районированию территории России по степени радоноопасности площадь XI точно соответствует территории, занимаемой батолитом, и относится к радоноопасным [75]. Собственно, радоновые воды (>187 Бк/кг) распространены в Ю и ЮВ части батолита, где обнаружено около 30 термальных минеральных источников [34, 35, 61]. В холодных углекислых гидрокарбонатно-магниевых подземных водах на Витимском плоскогорье (центральная и СВ части батолита) содержания радона, связанного с гранитами скального основания, находятся в пределах 60-180 Бк/кг.

Радон-222 в урановых рудах – продукт распада ^{226}Ra . На гидрогенных месторождениях урана на измерение гамма-активности влияет радиоактивное равновесие между радием и радоном, которое в замкнутой системе устанавливается на 23 сутки. Это равновесие в водопроницаемых слоях рудоносного горизонта нарушается в результате отжатия радона фильтратом бурового раствора, а также за счет привноса обогащенных нерудным радоном подземных вод из зон разломов фундамента.

При отсутствии внешнего поступления обогащенных радоном вод, процесс отжатия радона приводит к выносу из прилегающей к стволу скважины руды дочерних продуктов распада радона. В этом случае уменьшается регистрируемая каротажным радиометром гамма-активность, и, соответственно, занижаются содержания урана, определяемые косвенно по результатам гамма-каротажа. Для исключения влияния этого фактора применяется поправка на отжатие радона (P_{Rn}). Количественное значение P_{Rn} определяется на стадии разведки при опробовании керна рудных интервалов (РИ) на радий. P_{Rn} определяется как отношение суммы метро-процентов радия по керну к сумме метропроцентов радия этих же РИ по ГК. Для месторождения Вершинное среднее значение P_{Rn} равно 1.1.

Автором обобщены результаты режимных гамма-каротажных исследований на месторождениях Хиагдинское и Вершинное [24]. Скважины, в которых проведены режимные гамма-каротажные исследования на стадиях вскрытия, отработки и завершения процесса СПВ на опытных блоках месторождения Вершинное, приведены на **рис. 1.10**.

Далее приводятся три типичных случая отсутствия и присутствия нерудного радона, образование которого связано с гранитоидами фундамента [48] (**рис. 1.11**). Поступление радона в рудоносный горизонт аллювиальных отложений, как предполагается, происходит не повсюду, а только на локальных участках повышенной трещиноватости в тальвеге палеодолины В1.

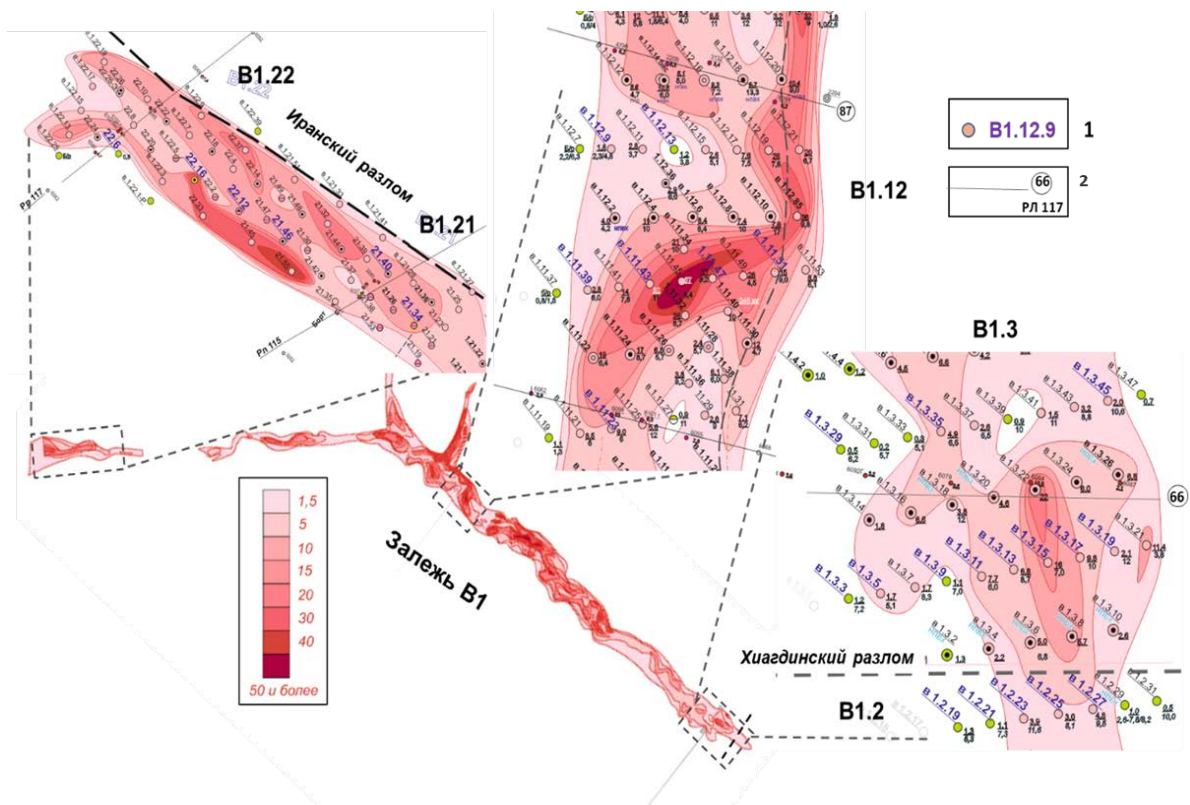


Рисунок 1.10. Карта удельной площадной продуктивности залежи В1 месторождения Вершинное и детальные фрагменты технологических блоков, в скважинах которых проведены режимные гамма-каротажные исследования и измерения методом КНД-М.

- 1 — скважина и ее номер, в которой выполнены ГК и КНД-М исследования;
2 — разведочная линия и ее номер

Появление нерудного радона приводит к завышению поправки на отжатие радона буровым раствором $P_{Rn} > 1,1$. Если не учитывать этот фактор, то оценка вскрытых запасов по ГК с поправкой $P_{Rn} = 1,1$ будет занижена.

Как уже отмечалось выше, влияние этого фактора наряду с эффектом отжатия радона приводит к практически неконтролируемому нарушению радиоактивного равновесия между радоном и радием на локальных участках. Это приводит к искажению запасов урана, определяемых методом ГК.

Для иллюстрации этого ниже приведены результаты режимных наблюдений методом ГК (рис. 1.11).

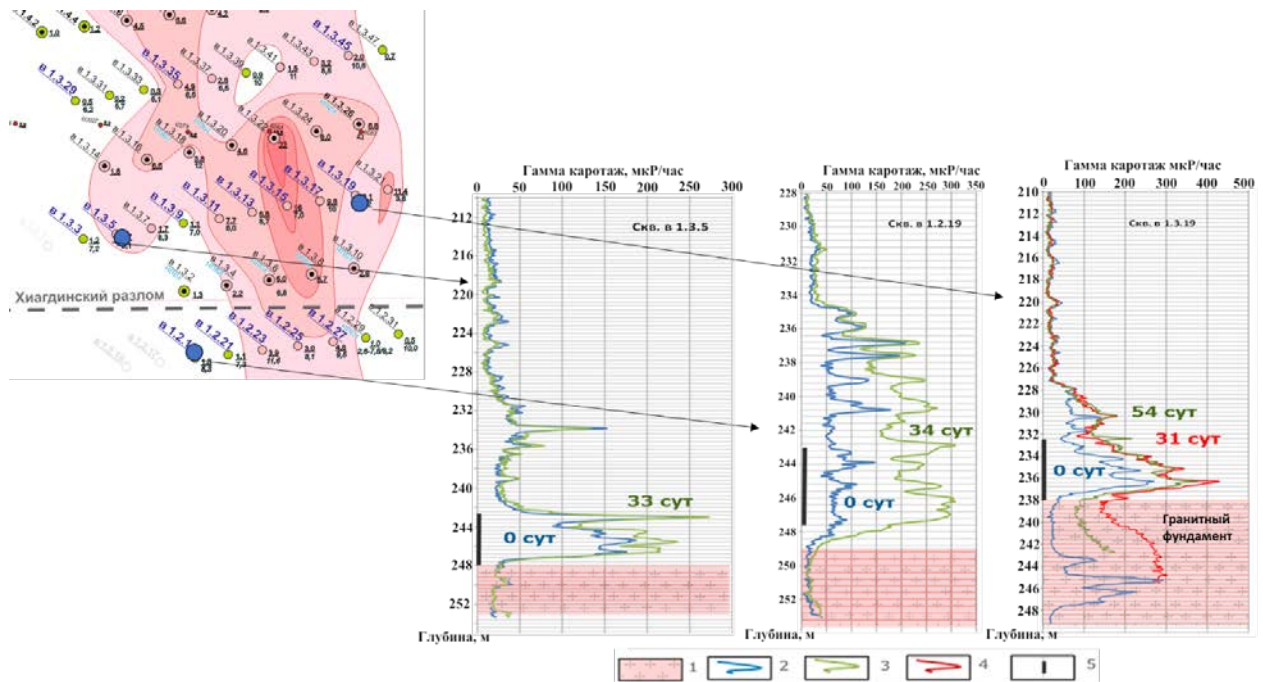


Рисунок 1.11. Режимные наблюдения за изменением гамма-активности по стволу скважин после их проходки и освоения. Расположение скважин показано на фрагменте карты удельной площадной продуктивности в кг U/m² [48].

- 1 — породы кристаллического фундамента; 2 — первичный гамма-каротаж;
 3 — повторный гамма-каротаж после освоения скважины и выстойки в течение 31–34 сут.;
 4 — повторный гамма-каротаж через 54 дня; 5 — фильтр технологической скважины

Приведенные примеры иллюстрируют разный характер проявления эффектов нарушения равновесия между радоном и радием и влияние этого фактора на результаты ГК. Сопоставление результатов интерпретации первичного и повторного ГК с результатами КНД-М для РИ в проницаемых рудах, выделяемых по бортовому $C_U = 0,01\%$, приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты определения параметров рудных интервалов в проницаемых осадках по данным первичного ГК, повторного ГК и КНД-М.

Вид каротажа	Прессованные параметры РИ		
	m, м	C _U , %	mC _U , м%
Скважина В1.3.5			
Первичный ГК (при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,1)	4,9	0,023	0,1127
Повторный ГК (с учетом конструкции скважины при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,0*)	4,8	0,025	0,1202
Каротаж КНД-М	5,7	0,035	0,1997
Скважина В1.3.19			
Первичный ГК (при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,1)	4,8	0,026	0,1248
Повторный ГК (с учетом конструкции скважины при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,0*)	8,8	0,028	0,2489
Каротаж КНД-М	6,4	0,033	0,2085
Скважина В1.2.19			
Первичный ГК (при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,1)	3,3	0,024	0,0792
Повторный ГК (с учетом конструкции скважины при K _{PP} = 0,93 и П _{Rn} =1,0*)	12,2	0,030	0,3603
Каротаж КНД-М	4,6	0,013	0,0614

Примечание: интерпретация выполнялась, исходя из предположения о восстановлении равновесия между радием и радоном в процессе выстойки скважин.

В скважине **В1.3.5** влияние нерудного радона на результаты ГК проявлено слабо, но при этом отмечается значительное занижение прессованной мощности и метро-процента РИ как для первичного, так и для повторного ГК относительно контрольного метода КНД-М, что связано с недооценкой фактора отжатия радона. При этом, судя по результатам повторного каротажа Ra-Rn равновесие не восстановлено даже через 33 дня после остановки прокачки скважины.

В скважине **В1.3.19** вблизи тальвега палеооврага Ra-Rn равновесие в рудовмещающих осадочных породах рудоносного горизонта практически полностью восстановлено в течении 31 дня, а в безрудных породах фундамента Ra-Rn равновесие не установилось даже на 54 день. При этом, по результатам повторного ГК видно, что влияние нерудного радона приводит к значительному завышению прессованной мощности и завышению метро-процента, определенному по ГК.

Иная картина наблюдается при гамма-каротажных измерениях в скважине **В1.2.19.** применение поправки на отжатие радона $P_{Rn}=1,1$ при интерпретации первичного ГК дает приемлемые результаты при оценке прессованного метропроцента РИ, близкие к оценке, полученной контрольным методом. По результатам повторного ГК установлено сильное влияние нерудного радона после, отражающееся в значительном увеличении прессованной мощности (в 2,7 раз) и метропроцента РИ (в 5,9 раз) относительно КНД-М.

Вывод: проведенные ГК режимные наблюдения на залежи В1 месторождения Вершинное показывают, что радон преимущественно поступает в рудоносный горизонт по дорудным тектоническим нарушениям С-З простирания, которые палеодолины наследуют. В этих участках рудных залежей применение поправки на отжатие радона $P_{Rn}=1,1$, применявшейся на стадии разведки месторождений ХРП при подсчете запасов методом ГК, будет приводить к значительному искажению оценки вскрытых технологическими скважинами запасов.

1.4.4. Оценка влияния бессульфатной и бескарбонатной минерализации подземных вод на миграцию радия. На изменчивость U-Ra радиоактивного равновесия (K_{RR}) по площади и в разрезе урановых рудных залежей влияют три основных фактора: возраст урановых руд; содержание сульфата (SO_4^{2-}), карбонатного иона (CO_3^{2-}) и хлора (Cl^-) в подземных водах; интенсивность водообмена в рудоносном водоносном горизонте.

Обобщение результатов гидрогеохимических исследований в ходе разведки месторождений ХРП, показало, что практически на всех этих рудных объектах в рудоносных водоносных горизонтах распространены углекислые гидрокарбонатно-магниевые подземные воды (**табл. 1.4**).

Как видно из этих данных подземные воды по всей латерали водоносного горизонта бессульфатные и почти бескарбонатные (рис. 1.12).

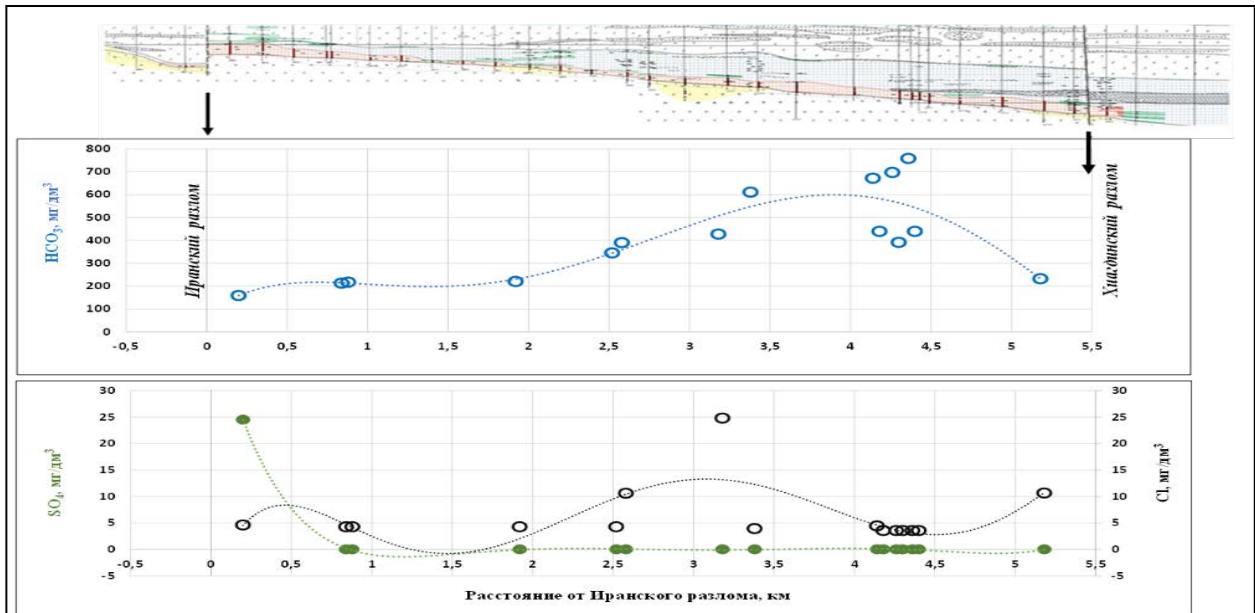


Рисунок 1.12. Изменение по простиранию залежи В1 гидрокарбоната, сульфата и хлора в подземных водах

Изменчивость коэффициента радиоактивного U-Ra-равновесия — K_{Pp} — непосредственно зависит от миграционной способности урана и радия в подземных водах. Поведение этих элементов в гидрогеохимической среде кардинально различается. На растворимость урана влияют рН и окислительно-восстановительные свойства подземных вод, тогда как растворимость радия не зависит от Eh, но зависит от рН и химического состава подземных.

Таблица 1.4. Химический состав подземных вод в разных частях рудоносного водоносного горизонта залежи В1 месторождения Вершинное

Положение в палеодолине В1	Гидрогеологическая скважина	Глубина опробования, м	Дата отбора пробы	Форма выражения анализа	рН	Анионы					Катионы				У, мкг/л	Минерализация, мг/дм ³
						НСО ₃ ⁻	СО ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Сl ⁻	Итого	Са ²⁺	Mg ²⁺	(Na+K) ⁺	Итого		
Верховье	6102	211	2012	мг/дм ³	6,2	158,6	0	24,5	4,6	187,8	16,4	19,2	17,0	52,7	358	240
				%-экв		80,0	0	16	4,0	100,0	27	52	21,0	100,0		
	6072	221	2012	мг/дм ³	7,3	213,6	6,0	0	4,3	223,8	11,6	32,9	26,5	71,0	500	295
				%-экв		92,0	5,0	0	3,0	100,0	14	63	23,0	100,0		
Центральная часть	3803	189	1987	мг/дм ³	7,6	695,6	36,0	0	6,0	737,6	60,12	72,92	86,7	219,7	26	957
				%-экв		89,0	9,4	0	1,3	100,0	23	47	30,0	100,0		
	3801	190	1987	мг/дм ³	6,8	756,6	0	0	14,2	770,8	64,13	68,05	92,0	224,1	153	995
				%-экв		97,0	0	0	3,1	100,0	25	44	31,0	100,0		
Низовье	3137	230	1987	мг/дм ³	6,8	231,9	0	0	10,6	242,5	20,04	19,44	34,5	74,0	4,3	316
				%-экв		93,0	0	0	7,3	100,0	24	39	37,0	100,0		

Уран. Исследованиями последних лет [69, 70], установлено, что в верховьях рудоносных палеодолин преобладают положительные значения окислительного потенциала (Eh) и в этих участках рудных залежей должен происходить вынос урана из руд и смещение K_{pp} в сторону Ra ($K_{pp} > 1$). На всех месторождениях ХРП отмечается обратная зависимость содержания урана от гидрокарбоната в подземных водах [70]. Чем больше концентрация HCO_3 , тем ниже содержание U в подземных водах.

Следовательно, на всех месторождениях ХРП в естественных условиях в верховьях палеодолин должен наблюдаться слабый вынос урана из руд и смещение K_{pp} в сторону радия, а в центральной и нижней их частях – накопление урана и смещение K_{pp} в сторону этого, что будет проиллюстрировано далее конкретными примерами.

Радий – щелочноземельный элемент и по своим химическим свойствам очень близок к барию. Миграционная способность Ra зависит от анионного состава подземных вод.

Сульфаты и карбонаты радия практически не растворимы в воде. Радий неподвижен в сульфатсодержащих и карбонатных (содовых) подземных водах, т.к. произведение растворимости $RaSO_4 - 4,3 \cdot 10^{-11}$ [2, 83], а растворимость $RaCO_3$ – еще ниже [4]. При этом $RaCl_2$ хорошо растворим в воде – 24,52 г/100 мл.

Минерализация подземных вод в рудоносных водоносных горизонтах ХРП закономерно возрастает с увеличением глубины залегания урановых руд [31]. В этом направлении рН изменяется от близнеутральных до слабокислых значений. В анионной части значительно преобладает гидрокарбонат, содержание которого растет с ростом глубины залегания урановых руд от 0,25 до 6 г/дм³. При этом карбонатный ион CO_3^{2-} практически отсутствует в подземных водах (см. **табл. 1.4**, **рис. 1.12**), что позволяет предположить отсутствие труднорастворимых карбонатов радия в рудах (например, радиокальцита). В рудоносных горизонтах среди карбонатных минералов в основном присутствует сидерит. Крайне редкие зерна кальцита встречены только вблизи зоны Иранского разлома.

Подземные воды на месторождениях ХРП в основном бессульфатные. Только в самом верховье палеодолин в пресных слабоминерализованных водах появляются сульфаты с содержанием около 25 мг/дм³. Следовательно, в рудах также отсутствуют труднорастворимые сульфаты радия (например, радиогипс, радиобарит). При минералогических исследованиях на стадии разведки гипс и барит в рудах не обнаружены.

Радий хорошо растворим в хлоридной среде. Хлор встречен в подземных водах во всех частях залежи в небольшом количестве 3,0 – 14,2 мг/дм³. Этот фактор может влиять на слабую миграционную способность Ra.

Вывод: в гидрогеохимических условиях месторождения Вершинное U накапливается в неподвижном восстановительном геохимическом барьере и, за исключением верховьев палеодолин, в целом неподвижен. Отмечается только перераспределение его тяжелых и легких изотопов в результате фракционирования в слабокислой углекислой среде. Радий в бессульфатной и бескарбонатной среде в присутствии небольшого количества хлоридов способен слабо мигрировать в подземных водах. Эти факторы могут отражаться на изменчивости K_{PP} .

1.4.5. Изучение изменчивости коэффициента U-Ra радиоактивного равновесия (K_{PP}). Для подсчета вскрытых технологическими скважинами запасов урана при гамма-каротажных исследованиях используют два основных параметра – коэффициент U-Ra радиоактивного равновесия (K_{PP}), устанавливающийся за период 830 тыс. лет, и Ra-Rn равновесие, с периодом достижения равновесия 23 дня. При значительно более грубой оценке запасов на стадии разведки на месторождениях ХРП (2009–2012 гг) по категории C₂ (30 %) и C₁ (70 %) при расстоянии между разведочными линиями 175–400 м использовались значения $K_{PP} = 1$ и поправка на отжатие радона буровым раствором $\Pi_{Rn} = 1,1$. Однако при более плотной сети и расстоянии между рядами технологических скважин 40 м на полигонах СПВ и переводе промышленных запасов в категорию В значения этих параметров имеют значительную изменчивость [24], связанную со следующими факторами.

Для оценки изменчивости радиологических параметров урановых руд выбраны разведочные скважины в пределах подготовленных к эксплуатации блоков В1.21 и В1.22 в верховье палеодолины В1, блока В1.12 в ее центральной части и блоков В1.2 и В1.3 в нижней части палеодолины на пересечении дорудного разлома СЗ простирания и постседиментационного Хиагдинского разлома СВ ориентировки (см. **рис. 1.10**).

Автором диссертации проанализированы значения K_{pp} , определенные по результатам исследования керна поисковых и разведочных скважин. Объемы и виды лабораторных работ, включенных в анализ, приведены в **табл. 1.5**.

Таблица 1.5. Виды и объемы лабораторных работ (пробы)

Вид анализа	Количество проб		
	поиски	разведка	всего
Силикатный анализ	-	54	54
Спектральный анализ на 21 элемент	2121	1147	3268
Полуколичественный спектральный анализ на 42 элемента	35	1688	1723
Рентгеноспектральный анализ на уран,	2159	2835	4994
то же на торий	2159	2835	4994
Комплексный физический метод определения содержания радия в порошковых пробах	579	1688	2267

Анализы выполнены в Центральной аналитической лаборатории (ЦАЛ) БФ «Сосновгеология» (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511544). Внешний контроль проведен в аналитической лаборатории СФ «Березовгеология (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511189). В ЦАЛ все испытания и калибровки выполнены в соответствии с национальным стандартом РФ по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 – 2006. Использовались методики, утверждённые НСАМ ФГБУ «ВИМС». Применяемая аппаратура проходила систематическую поверку в ФБУ «Иркутский ЦСМ» и в метрологической службе БФ «Сосновгеология».

Изменчивость K_{pp} по всей залежи В1 (**рис. 1.13**) подробно проанализирована в статье [24]. Здесь рассмотрим только типичные примеры, подтверждающие ранее сделанные выводы о миграционной способности U и Ra.

Встречаемость значений K_{pp} близкая к U-Ra равновесию в диапазоне значений 0,95–1,03 составляет 18,3 % (176 проб). Смещение равновесия в

сторону урана при $K_{PP} < 0,95$ — 41,7 % (402 пробы), а в сторону радия — 40,0 % (385 проб). То есть вынос и привнос урана в рудах залежи В1 — почти равнозначны. Но глубина перераспределения радия более значительная (максимальный K_{PP} 2,75) по сравнению с ураном (минимальный K_{PP} 0,56).

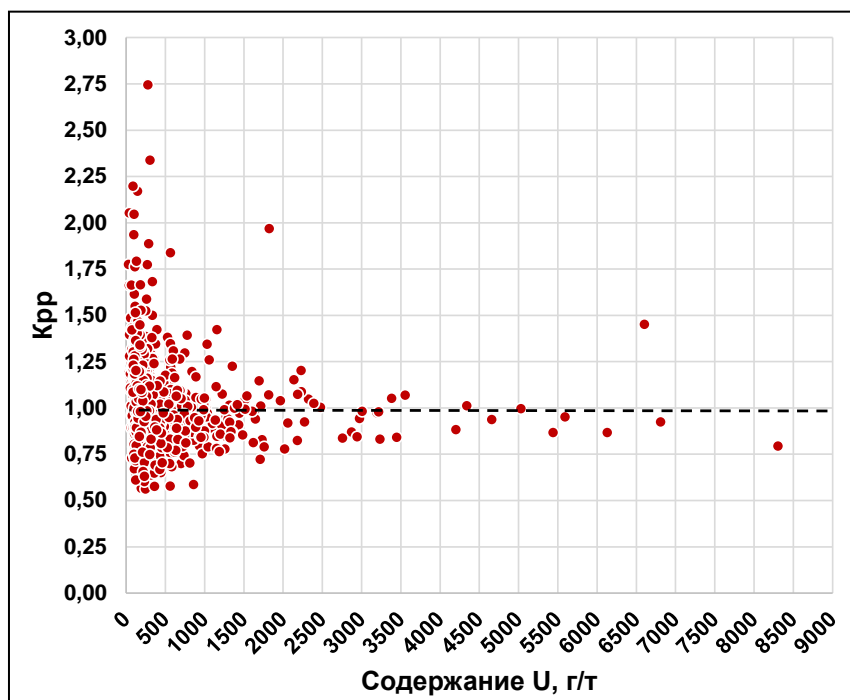


Рисунок 1.13. Изменчивость K_{PP} в зависимости от содержания урана в рудах залежи В1.

Богатые ураном руды близки к U-Ra-равновесию, а в бедных рудах K_{PP} смещен в большей степени в сторону Ra и в меньшей — в сторону U (рис. 1.13) [24].

Изменение K_{PP} по глубине рудоносного горизонта в верховье палеодолины В1 изучено по скважинам разведочной линии РЛ102

(рис. 1.14). В разрезе изучено 53 рудных сечения. В 16 сечениях K_{PP} смещен в сторону урана, в 10 сечениях руды равновесные и в 27 сечениях K_{PP} смещен в сторону радия. Разброс значений K_{PP} по линии РЛ102 составляет 0,69 до 1,68. Среднее значение K_{PP} по изученным скважинам равно 0,98 (табл. 1.6).

В центральной и нижней частях палеодолины В1 преобладают значения $K_{PP} < 1$, смещенные в сторону урана (рис. 1.15 и 1.16). Это согласуется с генетической моделью, согласно которой в этой части рудной залежи шло и идет накопление урана в неподвижном восстановительном геохимическом барьере [69].

Выводы:

- анализ изменчивости K_{PP} по площади и в разрезе урановой рудной залежи В1 месторождения Вершинное показал, что в верховье палеодолины В1

наблюдается незакономерное перераспределение урана и радия, а в центральной части и низовье палеодолины преобладает накопление урана, что согласуется с результатами гидрогеохимических исследований [69];

- при разведке урановых месторождений ХРП и расстоянии между разведочными линиями 175-400 м использование средних значений K_{pp} 1 и P_{Rn} 1,1 для подсчета запасов по категориям С1 и С2, возникающие погрешности, связанные с изменчивостью радиологической обстановки в рудоносных горизонтах, приемлемы. Но при вскрытии залежей технологическими скважинами с расстоянием между рядами в основном 40 м и переводе запасов в категорию В эти погрешности становятся не допустимы, т. к. геотехнологический учет отработки залежей ведется по технологическим блокам и изменчивость обсуждаемых параметров может вносить большие погрешности в оценку ключевого параметра — степень извлечения урана из недр [24];

- с целью решения перечисленных проблем по инициативе АО «Атомредметзолото» (ныне АО «Росатом Недра») разработаны технические средства и методики прямого определения урана в рудах методом каротажа мгновенных нейтронов деления – КНД-М, который рассматривается в следующем разделе.

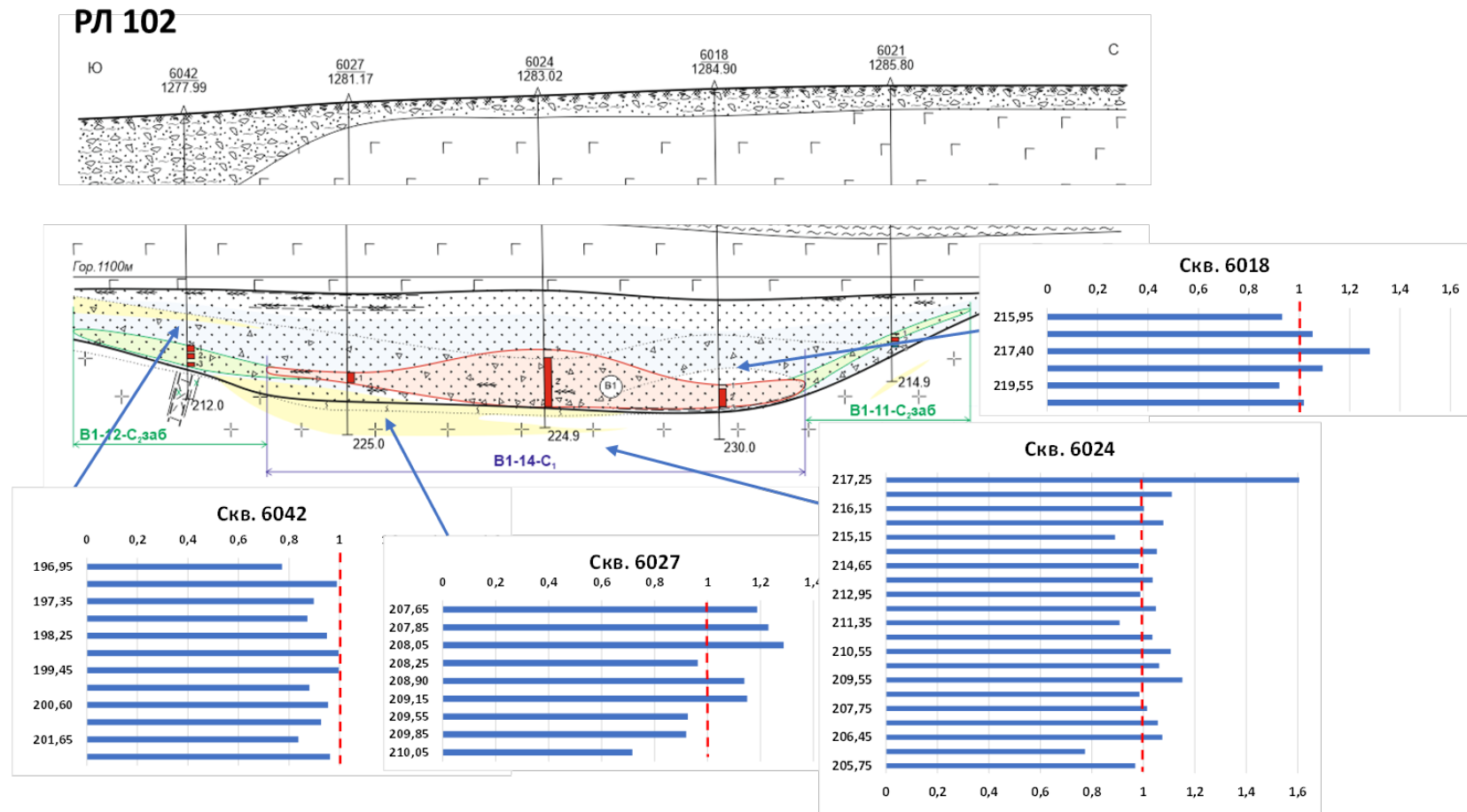


Рисунок 1.14. Изменение по глубине скважин $K_{пр}$ в верховье палеодолины В1. РЛ 102. Здесь и далее красная пунктирная линия — равновесное $K_{пр} = 1$ [24].

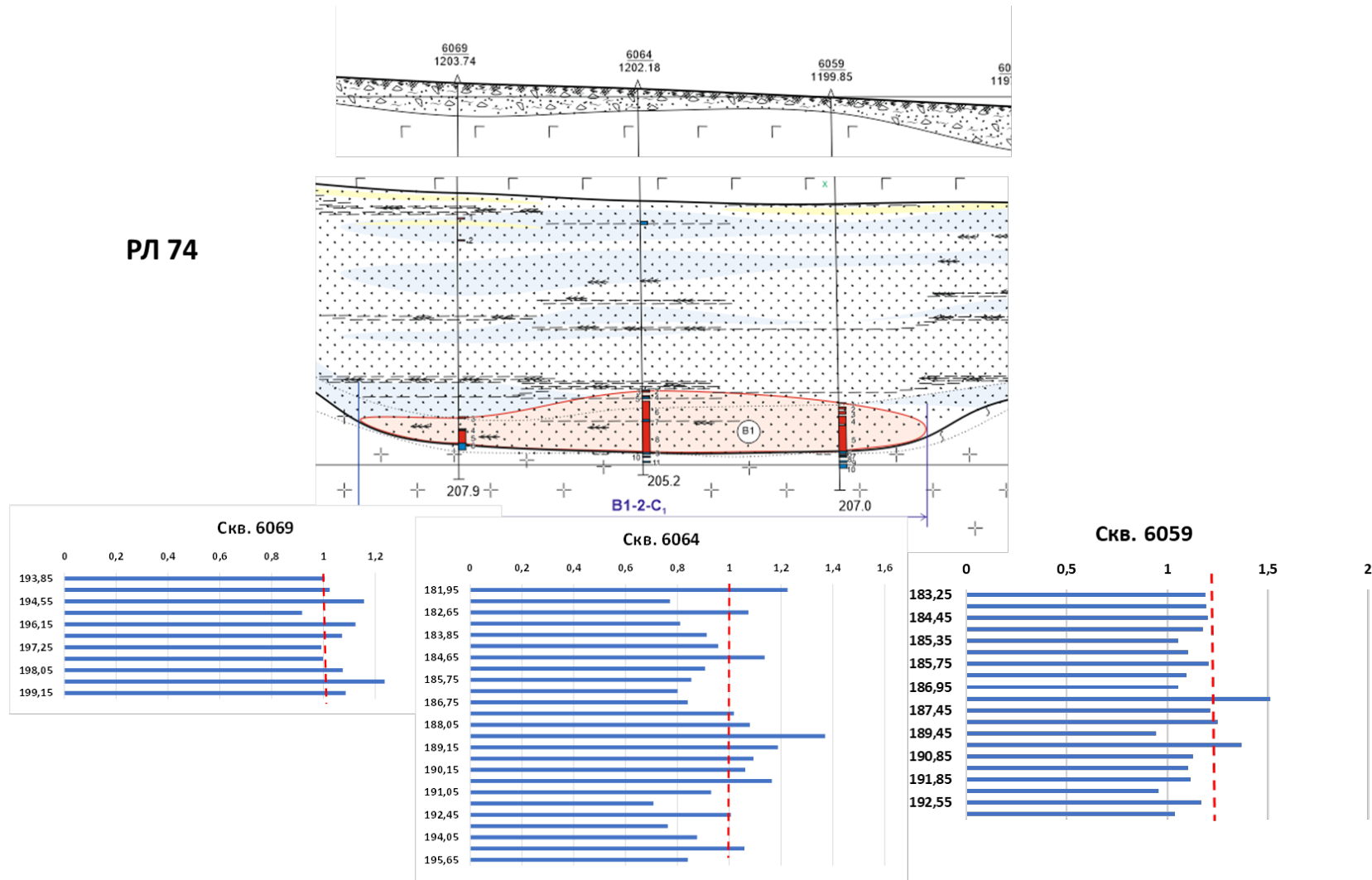


Рисунок 1.15. Изменение по глубине скважин К_{РР} в центральной части палеодолины V1. РЛ 74 [24].

РЛ 68 (разлом)

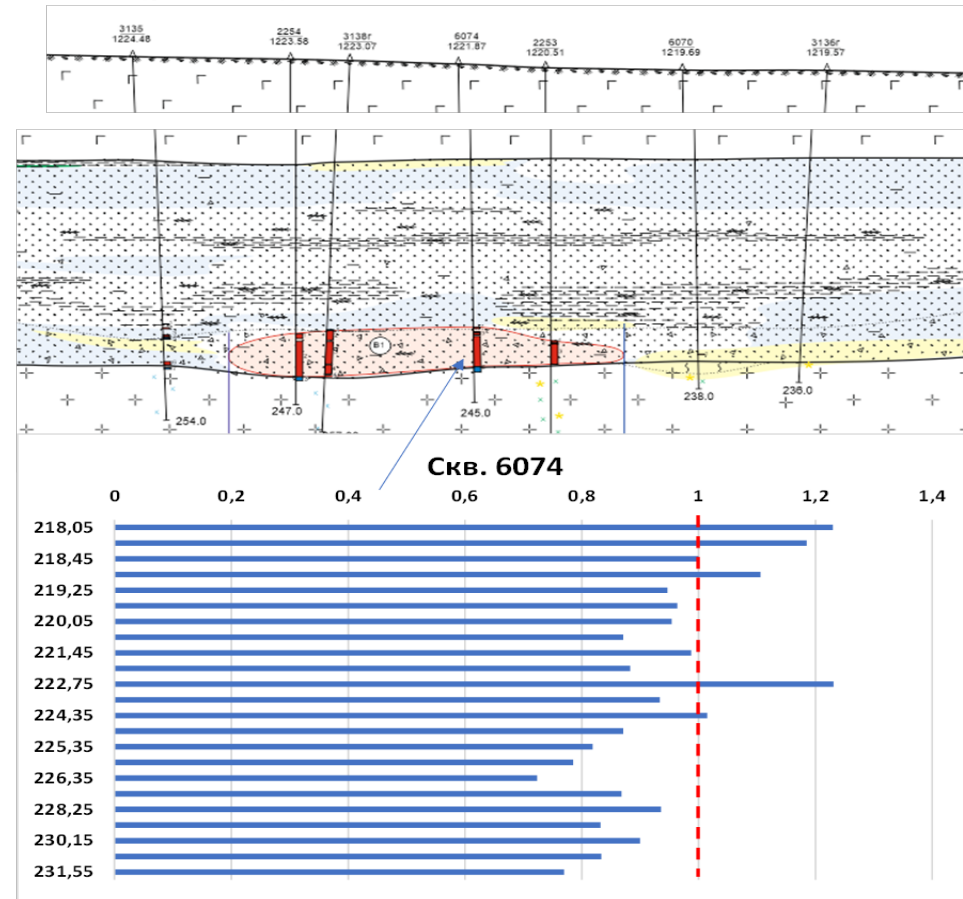


Рисунок 1.16. Изменение по глубине скважины K_{pp} в низовье палеодолины В1. Зона Хиагдинского разлома. РЛ 68 [24].

Таблица 1.6. Изменчивость К_{РР} вдоль урановой рудной залежи В1

Палеодолина В1	Разведочная линия	№ скв.	Интервал опробования, м		Длина, м	Содержание, 10 ⁻⁴ %		К _{РР}	Среднее	min	max
						уран	радий				
Верховье	РЛ117	6040	217,05	224,85	7,80	248,3	252,2	1,016	0,98	0,69	1,68
	РЛ117	6102Г	208,85	212,05	3,20	371	321,4	0,866			
	РЛ117	6045	213,45	231,25	17,80	444,6	448,4	1,008			
	РЛ117	6048	193,75	197,65	3,90	229,3	231,5	1,010			
	РЛ102	6042	196,95	203,05	6,10	142,6	128,5	0,901			
	РЛ102	6027	207,65	210,25	2,60	270,5	267,7	0,990			
	РЛ102	6024	205,75	219,25	13,50	355,4	361,7	1,018			
	РЛ102	6018	215,95	221,30	5,35	395,6	392,7	0,993			
Центральная часть	РЛ 85	6062	197,35	200,75	3,40	581,8	598,1	1,028	1,02	0,73	1,79
	РЛ 85	6058	196,75	207,15	10,40	716,8	754,8	1,053			
	РЛ 85	6101Г	195,45	202,15	6,70	270,2	260,4	0,964			
	РЛ 85	6055	200,45	208,75	8,30	212,2	230,1	1,084			
	РЛ74	6069	193,85	199,35	5,50	354,5	368,5	1,039			
	РЛ74	6064	181,95	199,15	17,20	594,2	526,5	0,886			
	РЛ74	6059	183,25	196,45	13,20	730,3	801,7	1,098			
Низовье	РЛ 70	6085	220,55	226,25	5,70	138,3	147,8	1,068	0,93	0,67	1,44
	РЛ 70	6076	223,95	224,85	0,90	576,8	489,8	0,849			
	РЛ 70	6078	213,75	221,2	7,45	915,7	753,8	0,823			
	РЛ68	6074	218,05	234,15	16,10	326,3	288,7	0,885			
	РЛ66	6094	239,25	243,85	4,60	437,1	457,9	1,048			
	РЛ66	6092	240,15	244,85	4,70	419,7	419,4	0,999			
	РЛ66	6079	229,05	246,85	17,80	647,6	636,8	0,983			
	РЛ66	6084	236,75	239,75	3,00	3264,4	2969,1	0,910			
РЛ66	6087	230,45	233,05	2,60	474,9	384,1	0,809				

1.5. Внедрение аппаратурно-методического комплекса для прямого определения содержания урана в естественном залегании руд

1.5.1. Метод прямого определения урана в рудах. История создания метода в 1960-х – 1980-х годах описана в статье одних из основоположников этой технологии сотрудников ВИРГ (в н.в. ФГУНПП «Геологоразведка») Г.И. Ганичевым и И.М. Хайковичем [10]. В этой работе описаны недостатки скважинной аппаратуры, которые существовали до созданной по инициативе АО «Атомредметзолото» нового глубоко модернизированного аппаратурно-методического комплекса АИНК-49, в котором решены две главные проблемы [22]. В комплекс включен нейтрон-нейтронный влагомер ИННК для внесения во время интерпретации поправок на влажность горных пород и ресурс работы генератора тепловых нейтронов увеличен с 30 до 200 час.

КНД-М является основным способом прямого определения урана в рудах как в России, так и за рубежом. Он рекомендован к использованию «Методическими рекомендациями по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья», утвержденными распоряжением Министерства природных ресурсов России от 05.06.2007 г. № 37-р. Метод используется для подсчета и учета запасов урана в недрах на стадиях разведки и эксплуатации урановых месторождений.

В основе метода КНД-М лежит свойство изотопа ^{235}U интенсивно делиться в поле тепловых нейтронов с выделением мгновенных нейтронов деления [78]. Тепловые нейтроны возникают в результате замедления их до тепловых энергий, испускаемых импульсным генератором и инжектированных в геологическую среду.

Количественное определение массовой доли урана по сечению ствола скважины осуществляют регистрацией потока мгновенных нейтронов, плотность которого в скважинах зависит не только от массовой доли урана, но и от влажности руд. Практика использования импульсных генераторов нейтронов в скважинной геофизике показала, что в дополнение к прямому определению урана в недрах методом КНД-М необходимо послойно оценивать влажность

пород, так как вода является замедлителем нейтронов. Для этого в новой модификации аппаратуры используют импульсный нейтрон-нейтронный каротаж тепловых нейтронов (ИННК). Возможность использования этого физического эффекта реализована при создании аппаратурно-методического комплекса АМК КНД-М.

Плотность потока тепловых нейтронов зависит от содержания в зоне активации (руде, вмещающих породах и в объеме скважинного пространства) элементов, обладающих аномально высоким сечением поглощения нейтронов. Это элементы с малым атомным номером и, в первую очередь, водород, а также такие элементы, как бор, гадолиний и др., в аномально высоких количествах встречающиеся в глинах. Именно это обстоятельство позволяет использовать результаты ИННК не только для определения влажности, но и для выделения водоупорных глинистых пород [22].

1.5.2. Аппаратурно-методический комплекс. В 2011–2013 гг. во «ВНИИА» им. Н.Л. Духова при финансировании НИОКР АО «Атомредметзолото» разработан аппаратурно-методический комплекс нового поколения АМК КНД-М или АИНК-49. В 2013 г. комплекс прошел метрологическую аттестацию во ФГУП «ВНИИМ» им. Д. И. Менделеева (г. Санкт-Петербург), аттестован как средство измерения плотности потока надтепловых нейтронов и утвержден в качестве типового средства измерений с внесением в Государственный реестр средств измерений РФ.

В 2015 г. методика измерений АИНК-49, реализованная в «Инструкции по каротажу методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа с применением двухзондовой аппаратуры АМК КНД-М в модификации АИНК-49» была аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563–2009 и ГОСТ 8.010–2013 [77] и имеет Свидетельство об аттестации № 634/210-(01.00250) -2015, выданное ФГУП «ВНИИМ» им. Д.И. Менделеева.

Методика измерений включает в себя не только выполнение измерений аппаратурой АИНК-49 и проведение калибровочных работ, но и процедуру

вычисления (интерпретации) подсчетных параметров рудных интервалов с оценкой точности и достоверности полученных результатов.

Новые принципы компоновки блока монитора позволили получить приборы диаметром 49 мм, а применение новых нейтронных генераторов ИНГ-12-50-100БТ с нейтронной трубкой ВНТЗ-32 увеличило ресурс работы генератора до 200 ч [22].

Разработанный аппаратурно-методический комплекс АИНК-49 имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с существующими аналогами. Сопоставление основных технических характеристик с аналогами приведено в **табл. 1.7.**

АМК КНД-М имеет аттестованное метрологическое обеспечение. Для метода КНД-М на базе АИНК-49 характерны стабильность градуировочной постоянной А и высокая достоверность определения подсчетных параметров рудных интервалов. Например, для комплекта аппаратуры АИНК-49, эксплуатирующегося с 2013 г., по результатам калибровочных работ, выполненных в период 2013–2019 гг., значение 95%-ной доверительной относительной погрешности определения градуировочной постоянной А не превышало 3 % [22].

Таблица 1.7. Сравнение основных технических характеристик аппаратурных комплексов

Компания (институт)	Разработчик	Прибор	Ресурс работы, ч	Диаметр скважинного прибора, мм	Скорость каротажа, м/ч	Определяемые параметры
Los Alamos National Laboratory	США	PFN	250	76	30	U (КНД)
ВНИИГИС	Россия	КНД-53	30	53	30	U (КНД) Экв. - Ra (ГК)
ВНИИА	Россия	АИНК-60	30	60	45	U (КНД) Экв. - Ra (ГК)
ВНИИА	Россия	АМК – АИНК-49	250	49	60	U (КНД), экв. – Ra (ГК), (ИННК)

1.5.3. Достоверность определения подсчетных параметров рудных сечений. Далее с целью оценки погрешности определения рудных интервалов КНД-М приводится сравнение результатов измерений этим методом с результатами геологического опробования контрольно-поверочной скважины и контрольных скважин, пробуренных с керном. Все аналитические работы по определению содержания урана, радия, тория и калия выполнены в Центральной аналитической лаборатории БФ «Сосновгеология», аккредитованной на производство этих анализов (аттестат № РОСС RU.0001.51154). Для анализов урана в керновых пробах применялась рентгеноспектральная методика (1.25 - НСАМ-420-РС), реализованная на анализаторах АРФ-7. Радий определен комплексным геофизическим методом, основанным на определении радия по накоплению радона с поправками за торий по данным РСА (1.26. - НСАМ-417 ЯФ/РС). Анализы тория выполнены по методике (1.12. - НСАМ 81-РС).

Для иллюстрации достоверности определения подсчетных параметров рудных интервалов приводятся результаты определения параметров аттестованного сечения в контрольно-поверочной скважине КПС-1 (АО «Хиагда») при проведении контрольных измерений комплектом аппаратуры СП № 1 в 2021 г. (табл. 1.8).

Достоверность определения подсчетных параметров рудных сечений иллюстрируется также результатами сопоставления данных КНД-М и геологического опробования трех контрольных скважин, пробуренных на действующем полигоне СПВ в 2019 г. (залежь Х6, месторождение Хиагдинское) (табл. 1.9).

Таблица 1.8. Результаты сопоставления параметров аттестуемого сечения по урану геологического опробования с КНД-М по скважине КПС-1

Дата и номер измерения	КНД-М (КПС-1)			Геологическое опробование (КПС-1)		
	<i>m</i> , м	<i>C_U</i> , %	<i>mC_U</i> , м*%	<i>m</i> , м	<i>C_U</i> , %	<i>mC_U</i> , м*%
<i>Сопоставление для сечения</i>						
20.04.2021-1	4	0,0423	0,1694	3,9	0,0422	0,1646
20.04.2021-2	4	0,0401	0,1605	3,9	0,0422	0,1646
28.06.2021-1	4	0,0415	0,1661	3,9	0,0422	0,1646
28.06.2021-2	4	0,0397	0,1587	3,9	0,0422	0,1646
04.08.2021-1	3,9	0,0436	0,1700	3,9	0,0422	0,1646

13.09.2021-1	3,9	0,0407	0,1588	3,9	0,0422	0,1646
13.09.2021-2	3,9	0,0423	0,1651	3,9	0,0422	0,1646
Сумма	27,70		1,1485	27,30		1,1522
Среднее	3,96	0,0415	0,1641	3,90	0,0422	0,1646
Среднеквадратическое расхождение в определении m (м), Cu (%) и mC (% отн.)				±0,05	±0,001	±1,93 %

Таблица 1.9. Результаты сопоставления параметров рудных сечений по данным ГО и КНД-М

Показатели	Оценка исходных показателей по результатам ГК	Оценка показателей по результатам ГО	Оценка показателей по результатам КНД-М
Скв. 6.1.12-К			
Верхнее рудное тело (вероятно не затронуто процессом СПВ)			
Суммарная мощность (m_U), м	2,1	7,9	7,2
Средневзвешенное содержание урана (C_U), %	0,0150	0,0121	0,0138
Суммарный метропроцент (m_{Cu}), м*%	0,0310	0,0954	0,0991
Суммарная продуктивность, кг/м ²	0,57	1,76	1,82
Относительная остаточная продуктивность, %	100	307,7	319,7
Нижнее рудное тело			
Суммарная мощность (m_U), м	4,6	4,0	3,7
Средневзвешенное содержание урана (C_U), %	0,0628	0,0406	0,0421
Суммарный метропроцент (m_{Cu}), м*%	0,2891	0,1623	0,1559
Суммарная продуктивность, кг/м ²	5,32	2,99	2,87
Относительная остаточная продуктивность, %	100	56,2	53,9
Скв. 6.2.15-К			
Суммарная мощность (m_U), м	12,8	9,3	9,2
Средневзвешенное содержание урана (C_U), %	0,1948	0,1315	0,1430
Суммарный метропроцент (m_{Cu}), м*%	2,4930	1,2229	1,3152
Суммарная продуктивность, кг/м ²	45,87	22,50	24,20
Относительная остаточная продуктивность, %	100	49,1	52,8
Скв. 6.4.27-К			
Суммарная мощность (m_U), м	6,2	7,7	6,3
Средневзвешенное содержание урана (C_U), %	0,0905	0,0621	0,0506
Суммарный метропроцент (m_{Cu}), м*%	0,5610	0,4780	0,3187
Суммарная продуктивность, кг/м ²	10,32	8,79	5,86
Относительная остаточная продуктивность, %	100	85,2	56,8
Итого по трем контрольным скважинам			

Показатели	Оценка исходных показателей по результатам ГК	Оценка показателей по результатам ГО	Оценка показателей по результатам КНД-М
(без учета верхнего уровня оруденения I в скважине 6.1.12-К)			
Суммарная мощность (mU), м	23,6	21,0	19,2
Средневзвешенное содержание урана (CU), %	0,1417	0,0887	0,0932
Суммарный метропроцент (mCU), м*%	3,3431	1,8632	1,7897
Суммарная продуктивность, кг/м ²	61,51	34,28	32,93
Относительная остаточная продуктивность, %	100	55,7	53,5

Выводы:

- двухзондовая модификация АИНК-49 позволяет не только выполнять прямое определение подсчетных параметров рудных интервалов методом каротажа мгновенных нейтронов деления ^{235}U , но и получать данные о влажности и литологических характеристиках разреза рудовмещающих пород методом импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК). Это дает возможность более точно определять параметры рудных интервалов по урану и осуществлять разделение рудных сечений на технологические сорта с выделением забалансовых руд в водонепроницаемых отложениях [22];

- результаты каротажа КНД-М и геологического опробования керна дают близкую оценку суммарной остаточной линейной продуктивности в проницаемых осадках, расхождения статистически незначимы. Результаты КНД-М в части оценки линейных запасов урана в рудных интервалах являются достоверными;

- применение КНД-М позволяет при вскрытии рудных тел технологическими скважинами, доразведке и контрольном бурении скважин для верификации обрабатываемых СПВ запасов исключить затраты на керновое бурение и геологическое опробование.

1.6. Результаты исследований методом КНД-М на стадии вскрытия залежей технологическими скважинами

Начало внедрения метода КНД-М в АО «Хиагда» – 2017 год. Автор диссертации организовывал и принимал непосредственное участие во внедрении этого метода и создании метрологического обеспечения вплоть до 2021 года. За период с 2017 по 2024 год выполнено 269 каротажей на разных стадиях освоения СПВ месторождений Хиагдинское, Вершинное, Восточное, Количиканское и Дыбрыньское (табл. 1.10). В том числе 183 каротажа реализовано на стадии вскрытия урановых рудных залежей.

Эмпирически установлено – для надежного уточнения основных поправок (K_{PP} , P_{Ra} и P_k) и достоверного определения вскрытых в технологических блоках запасов урана по категории В достаточно 20–25 % каротажей методом КНД-М от общего числа технологических скважин в блоке.

Таблица 1.10. Объемы выполненных каротажных работ на разных стадиях освоения месторождений ХРП

Стадия освоения	Год	Месторождение (эксплуатационный блок)	Количество технологических скважин в эксплуатационном блоке	Количество каротажей КНД-М	Доля измерений КНД-М от общего количества скважин в блоке, %
Вскрытие запасов технологическими скважинами	2017 (внедрение КНД-М)	Вершинное (Бл. В1.11 и В1.12)	75	11	15
		Хиагдинское (Бл. Х3.13)	32	4	13
	2018	Вершинное (Бл. В1.3 и В1.14)	28	16	54
	2019	Вершинное (Бл. В1.17 и В1.18)	52	37	71
	2021	Количиканское (Бл. Кл1.2, Кл1.4, Кл1.5 и Кл1.6)	162	77	48
	2022	Количиканское (Бл. Кл1.7, Кл1.8, Кл1.9 и Кл1.10; Кл16.1.1)	149	16	11
	2022	Вершинное (Бл. В1.21 и В1.22)	81	7	9
	2023	Дыбрыньское (Бл. Д6.5 и Д6.6)	97	15	15
	Итого:				183
Отработка СПВ эксплуатационных блоков	2018	Хиагдинское (Бл. Х3.12 и Х3.13)		9	
	2019	Вершинное (В1.10 и В1.12)		3	
		Восточное (И1.3)		1	

Стадия освоения	Год	Месторождение (эксплуатационный блок)	Количество технологических скважин в эксплуатационном блоке	Количество каротажей КНД-М	Доля измерений КНД-М от общего количества скважин в блоке, %
	2020	Хиагдинское (Бл. Х3а21)		4	
	2022	Вершинное (Бл. В1.12, В1.14, В1.16, В2.1)		10	
		Количиканское (Бл. Кл1.3)		2	
	2024	Количиканское (Бл. Кл1,3, Кл1.10, Кл1а.2, Кл1а.3, Кл1б)		39	
	Итого:			68	
Завершающая стадия отработки блока СПВ	2017	Хиагдинское (Бл. Х5.9, Х5.13, Х6.3)		4	
	2020	Хиагдинское (Бл. Х6.1, Х6.2 и Х6.3)		13	
	2022	Хиагдинское (Бл. Х3.13)		1	
	Итого:			18	

Далее приводятся наиболее типичные примеры совпадения и расхождения данных, оцененных методами ГК и КНД-М. Ядерно-геофизические исследования проведены при вскрытии запасов технологическими скважинами в верховье (Блоки 1.21 и 1.22), в центральной части (Блок В1.12) и низовье (Блок В1.3) палеорусловых проницаемых отложений, вмещающих рудную Залежь В1 месторождения Вершинное. Исследования проведены специалистами АО «Русбурмаш» и АО «Хиагда» с целью уточнения радиологических характеристик урановых руд, включая комплексную поправку (Пк), учитывающую нарушение радиоактивного равновесия между U-Ra и Ra-Rn; определения погрешности, возникающей при оценке параметров рудных интервалов (m , C , mC) методом ГК; определения суммарной линейной продуктивности ураново-рудных интервалов в исследованных скважинах [48].

1.6.1. Результаты КНД-М на блоках В1.21 и В1.22 (верховье палеодолины)

Фрагмент схемы расположения технологических скважин на блоках В1.21 и В1.22. залежи В1 месторождения Вершинное приведен на **рис. 1.17**. Для оценки комплексной поправки P_k использована выборка из 15 рудных сечений в проницаемых осадках, полученная по результатам ГК и КНД-М в 7 технологических скважинах [51].

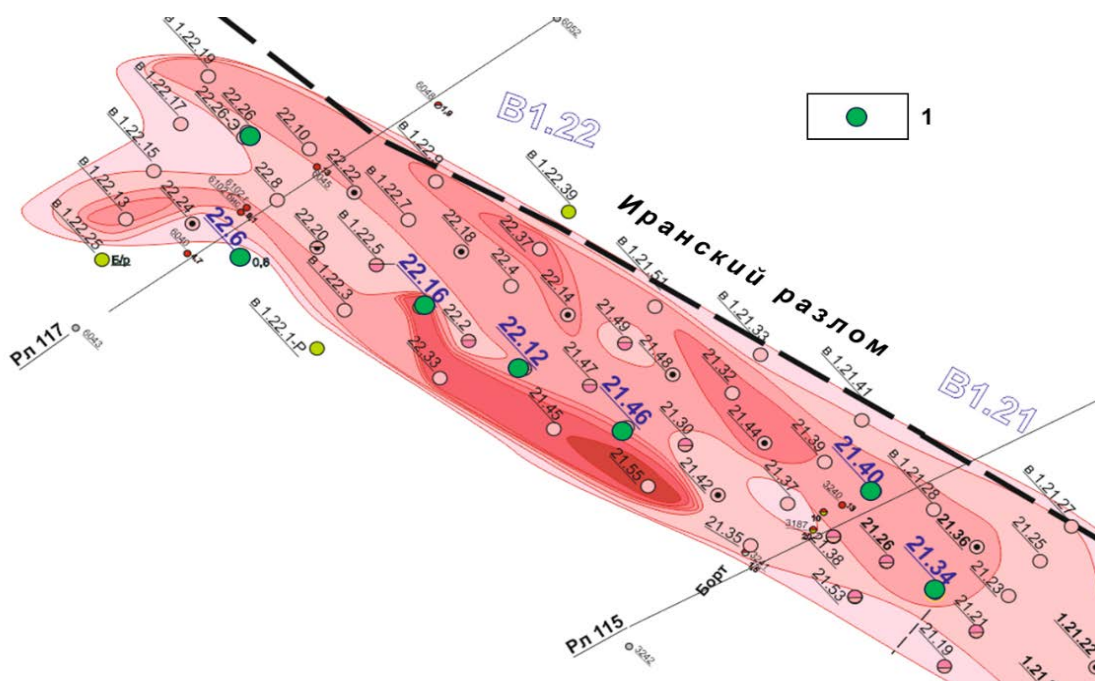


Рисунок 1.17. Расположение скважин на фрагменте карты площадной удельной продуктивности, в которых проведены ГК и КНД-М каротажи. Верховье палеодолины В1.
1 — опытная скважина

Результаты оценки комплексной поправки (P_k) сведены в **табл. 1.11**. В этой же таблице приведены расчетные значения P_{Rn} по 65 сечениям, которые рассчитаны исходя из допущения, что среднее значение $K_{pp} = 0,94$ для измерений методом КНД-М, полученное по результатам разведочных работ в скважинах разведочных линий РЛ100-119 с относительно однородными значениями K_{pp} .

Как можно видеть (см. табл. 1.11), средневзвешенное значение P_k в рудоносных проницаемых осадках составляет 1,37. Проведенное сопоставление средних и средневзвешенных значений P_k , показало, что расчетное значение V -статистики 2,917 превышает первое критическое значение 2,07 для $P = 0,95$. Расхождение между полученными оценками P_k являются систематически значимыми.

Таблица 1.11 – Определение комплексной поправки P_k по данным ГК и КНД-М в шести технологических скважинах блоков В1.21 и В1.22 залежи В1[51]

№ п/п	№ скв.	Интервал, м		m, м	Параметры по ГК (для Ra)		Параметры по КНД-М (для U)		P_k	P_{Rn} при $K_{pp}=0,94$	P_{k-} $P_{kcp.}$
		от	до		$C_{Ra}, \%$	$mC_{Ra}, M*\%$	$C_U, \%$	$mC_U, M*\%$			
1	в1.21.34	224,05	228,75	4,70	0,070	0,3280	0,083	0,3909	1,19	1,12	1,33
2	в1.21.34	231,45	234,25	2,80	0,019	0,0545	0,027	0,0745	1,37	1,28	0,02
3	в1.21.40	223,85	230,65	6,80	0,069	0,4696	0,091	0,6215	1,32	1,24	0,35
4	в1.21.40	231,45	233,45	2,00	0,053	0,1064	0,089	0,1782	1,67	1,57	2,28
5	в1.21.40	233,75	234,35	0,60	0,016	0,0096	0,023	0,0136	1,42	1,33	0,35
6	в1.21.46	214,55	227,65	13,10	0,069	0,8976	0,087	1,1361	1,27	1,19	0,78
7	в1.22.6	216,65	217,45	0,80	0,015	0,0118	0,019	0,0153	1,29	1,22	0,56
8	в1.22.6	218,75	220,05	1,30	0,036	0,0468	0,051	0,0667	1,43	1,34	0,42
9	в1.22.6	224,75	226,95	2,20	0,029	0,0639	0,046	0,1002	1,57	1,47	1,48
10	в1.22.12	217,35	218,45	1,10	0,014	0,0158	0,021	0,0229	1,45	1,36	0,61
11	в1.22.12	220,15	227,85	7,70	0,045	0,3457	0,063	0,4830	1,40	1,31	0,21
12	в1.22.12	229,65	231,55	1,90	0,041	0,0775	0,047	0,0900	1,16	1,09	1,56
13	в1.22.16	224,85	229,95	5,10	0,020	0,1035	0,029	0,1480	1,43	1,34	0,45
14	в1.22.26	222,55	223,75	1,20	0,014	0,0167	0,019	0,0228	1,37	1,29	0,01
15	в1.22.26	224,05	228,65	4,60	0,027	0,1225	0,032	0,1483	1,21	1,14	1,19
	Сумма			55,9		2,6699		3,5120			
	Среднее			3,73	0,0358	0,1780	0,0485	0,2341	1,370	1,287	
n=15	СКО для среднего								0,138	0,130	
	Ср. взвешенное				0,0479		0,0629		1,315	1,236	
	СКО для ср. взвеш.								0,149	0,140	
	Статистика Смирнова										2,28
	Критич. Знач. для $P=0,95$										2,60
	Критич. Знач. для $P=0,99$										2,86

В табл. 1.11 приведены средние и средневзвешенные значения поправки на «отжатие» радона полученные с использованием $K_{pp} = 0,94$: $P_{Rn} = 1,287$. По материалам, приведенным в отчете средневзвешенная единая для всего месторождения оценка P_{Rn} составляет 1,104. Как видно расхождение P_{Rn} очевидно [56].

Для того, чтобы определить, насколько применяемые для интерпретации ГК коэффициенты K_{pp} и P_{Rn} влияют на оценку параметров рудных интервалов по урану методом ГК, сделано их сопоставление с результатами определения

параметров рудных интервалов контрольным методом КНД-М. Результаты сопоставления приведены в табл. 1.12.

Таблица 1.12. Сопоставление параметров рудных интервалов, полученных методами ГК и КНД-М

№ п.п.	№ скв.	параметры по ГК					параметры по КНД-М				
		От	До	m _о , м	C _о , %	mC _о , м*% м*% [*]	От	До	m _к , м	C _к , %	mC _к , м*% м*% [*]
1	в 1.21.34	224,05	228,65	4,60	0,078	0,3600	224,05	228,75	4,70	0,083	0,3909
2	в 1.21.34	231,35	234,15	2,80	0,022	0,0610	231,45	234,25	2,80	0,027	0,0745
3	в 1.21.40	223,95	230,65	6,70	0,077	0,5160	223,85	230,65	6,80	0,091	0,6215
4	в 1.21.40	231,25	233,25	2,00	0,059	0,1180	231,45	233,45	2,00	0,089	0,1782
5	в 1.21.40	233,65	234,35	0,70	0,017	0,0120	233,75	234,35	0,60	0,023	0,0136
6	в 1.21.46	214,55	227,55	13,00	0,076	0,9870	214,55	227,75	13,20	0,086	1,1371
7	в 1.22.6	216,75	217,55	0,80	0,017	0,0140	216,65	217,45	0,80	0,019	0,0153
8	в 1.22.6	218,45	220,05	1,60	0,035	0,0550	218,75	220,05	1,30	0,051	0,0667
9	в 1.22.6	224,55	226,85	2,30	0,031	0,0720	224,75	226,95	2,20	0,046	0,1002
10	в 1.22.12	217,35	218,35	1,00	0,017	0,0170	217,35	218,45	1,10	0,021	0,0229
11	в 1.22.12	220,35	227,95	7,60	0,050	0,3810	220,15	227,85	7,70	0,063	0,4830
12	в 1.22.12	229,55	231,65	2,10	0,042	0,0880	229,65	231,55	1,90	0,047	0,0900
13	в 1.22.16	224,75	229,95	5,20	0,022	0,1156	224,85	229,95	5,10	0,0290	0,14796
14	в 1.22.26	222,45	223,75	1,30	0,015	0,0200	222,55	223,75	1,20	0,019	0,0228
15	в 1.22.26	224,15	228,65	4,50	0,030	0,1340	224,05	228,65	4,60	0,032	0,1483
Сумма				56,20		2,9506			56,00		3,5130
Среднее				3,75	0,039	0,1967			3,73	0,063	0,2342
Ср.-квадратические расхождения для m (м), C (%) и mC (% отн.)									0,09 м	0,01%	13,10%
t - статистика (n=15)				t _{кр} ⁽¹⁾ = 2,14 для P=0,95 t _{кр} ⁽²⁾ = 2,98 для P=0,99				0,38	4,78	7,52	
Статистика Смирнова				z _{кр} ⁽¹⁾ = 2,56 для P=0,95 z _{кр} ⁽²⁾ = 2,86 для P=0,99				2,19		2,09	
Относительные расхождения средних значений пар-ров РИ, %									0,4	-16,3	-16,0

Применение поправок ($K_{PP} = 1,0$ и $P_{Rn} = 1,10$), принятых для интерпретации ГК по результатам разведочных работ, не позволяют получить достоверные параметры РИ. Расчетное значение t-статистики для m не превышает первое критическое значение t-статистики для P 0,95 равное 2,14, но для C и mC расчетное значение t-статистики превышает второе критическое значение t-статистики P 0,99 равное 2,98. Это свидетельствует об отсутствии значимых систематических расхождений для m и о наличии значимых систематических расхождений для C и mC. ГК значимо занижает mC относительно данных КНД-М. Случайные среднеквадратические расхождения для всех параметров рудных интервалов не превышают допустимых значений, регламентируемых инструкцией по ГК [76].

Вывод:

- рассчитанные поправки $\Pi_K = 1,32$ и $\Pi_{Rn} = 1,24$ для нижнего уровня оруденения существенно отличаются от значений, полученных по результатам разведочных работ ($\Pi_K = 1,1$ и $\Pi_{Rn} = 1,10$) [51].

1.6.2. Результаты КНД-М на блоках В1.11 и В1.12 (центральная часть палеодолины)

На Блоке В1.12 в центральной части залежи по материалам разведочных работ установлены случайные расхождения мощности рудных интервалов между данными ГК и геологического опробования керна (ГО). Исследования методом КНД-М проведены в 7 технологических скважинах на стадии их сооружения (рис. 1.18).

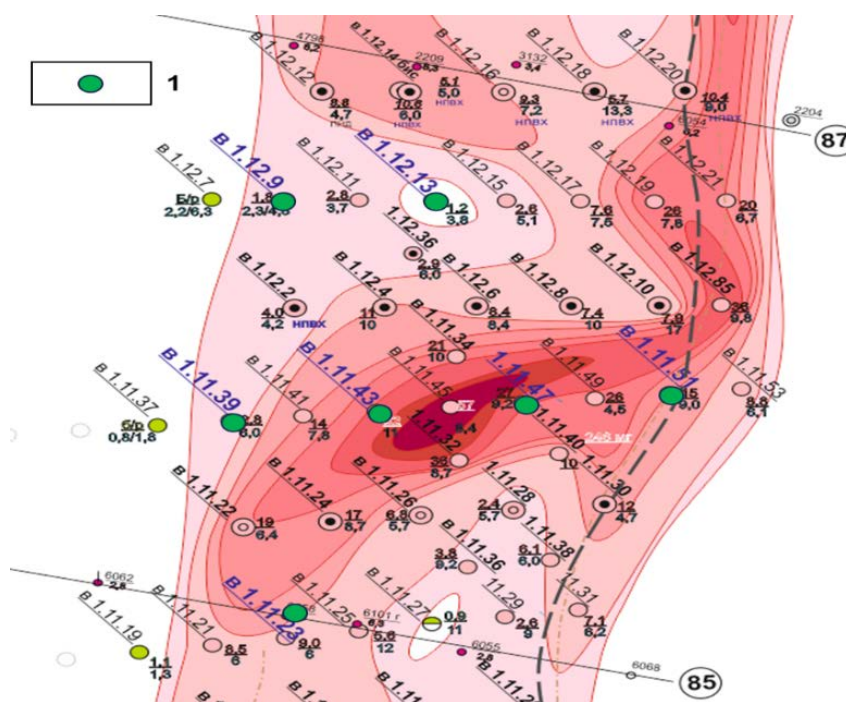


Рисунок 1.18. Расположение скважин, в которых проведены ГК и КНД-М каротажи.

Центральная часть палеодолины В1.

1 — опытная скважина

Аналогично статистическим оценкам, выполненных теми же методами, что и на блоках В1.21 и В1.22, проведены исследования на блоках В1.11 и В1.12 по выборке из 15 рудных интервалов. В результате получены следующие результаты [48]:

- значимые систематические расхождения по критерию Стьюдента для подсчетных параметров (m , C , mC) рудных интервалов отсутствуют;
- случайные расхождения оценки мощности рудных интервалов между ГК и КНД-М составляют $\pm 0,46$ м (допустимое значение $\pm 0,25$ м);
- случайные относительные расхождения для mC рудных интервалов

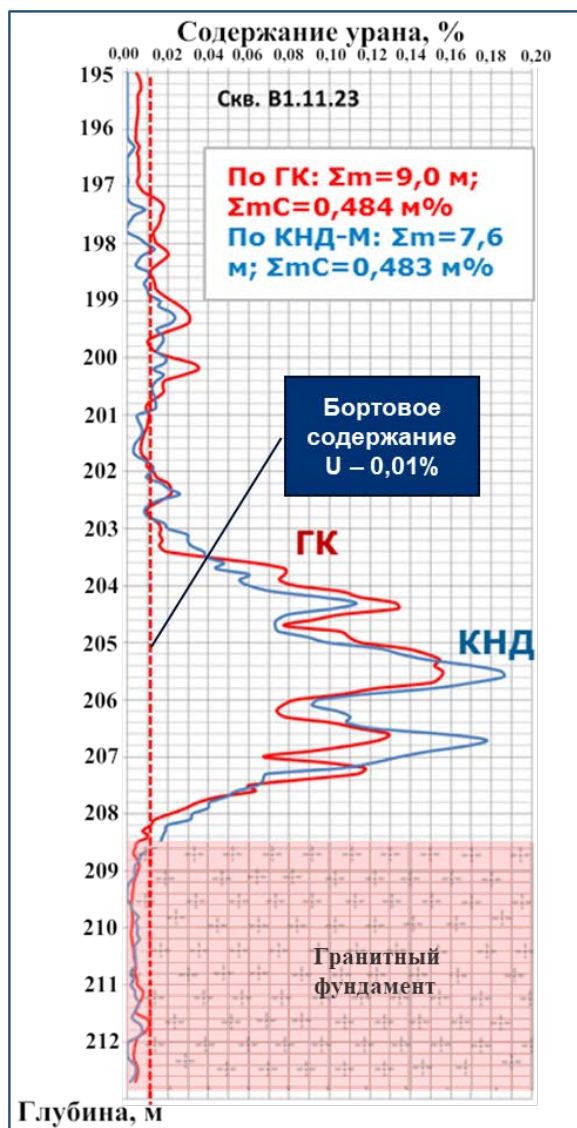


Рисунок 1.19. Сопоставление диаграмм распределения в разрезе содержаний урана по данным гамма-каротажа и каротажа мгновенных нейтронов деления по скважинам блока В1.12 [46].

Выводы:

- На примере блока В1.12 (центральная часть палеодолины) применение

между ГК и КНД-М находятся в пределах ± 35 % (допустимое значение ± 25 %);

- комплексная поправка $P_K = 1,13$, полученная по данным ГК и КНД-М.

Близкие результаты получены при сопоставлении результатов ГК с данными геологического опробования (ГО) керна скважин разведочных линий РЛ 85 и РЛ-87, расположенных в районе блока В1.12 (см. рис. 1.18). При отсутствии значимых систематических расхождений для подсчетных параметров рудных интервалов, случайные расхождения для мощности рудных интервалов между ГК и ГО составляют $\pm 0,6$ м. Оценка комплексной поправки P_K по данным кернового опробования равна 1,17 [48].

На рис. 1.19 приведен пример совпадения m и mC , определенных методами ГК и КНД-М. Как видно по скважине В1.11.23 по параметру mC различий не отмечается.

принятых для месторождения поправок $KPP = 1$ и $PRn = 1,1$ при интерпретации гамма-каротажа не приводит к значимому расхождению суммарной удельной продуктивности участка рудной залежи по сравнению с контрольным методом КНД-М. Основным недостатком ГК в данном блоке являются высокие случайные расхождения при оценке мощностей рудных интервалов.

- метод КНД-М не может эффективно применяться не только для уточнения комплексной поправки, но и для верификации достоверности результатов ГК в отсутствие данных по геологическому опробованию. Эта задача весьма актуальна, поскольку бурение технологических скважин осуществляется без отбора керна.

1.6.3. Результаты КНД-М на блоках В1.2 и В1.3 (низовье палеодолины)

Совершенно иная картина наблюдается по скважинам в низовье палеодолины вблизи Хиагдинского разлома, по сравнению с вышеописанными примерами в верховье и центральной части залежи В1.

На блоке В1.3 (приразломная часть залежи) на стадии детальной разведки установлено аномальное высокое влияние эффекта «отжатия» радона на результаты ГК. КНД-М выполнен в 18 скважинах [48] (**рис. 1.20**).

По скважинам, приведенным в качестве примера (**рис. 1.21**), занижение mC , определенное по данным ГК в сравнении с результатами КНД-М, составляет: В1.3.13 — 26 %, В1.2.23 — 39 % и В1.3.17 — 46 %. В скважине В1.2.23 максимальное расхождение диаграмм ГК и КНД-М зафиксировано в интервале глубины 242,6 — 247,1 м [50].

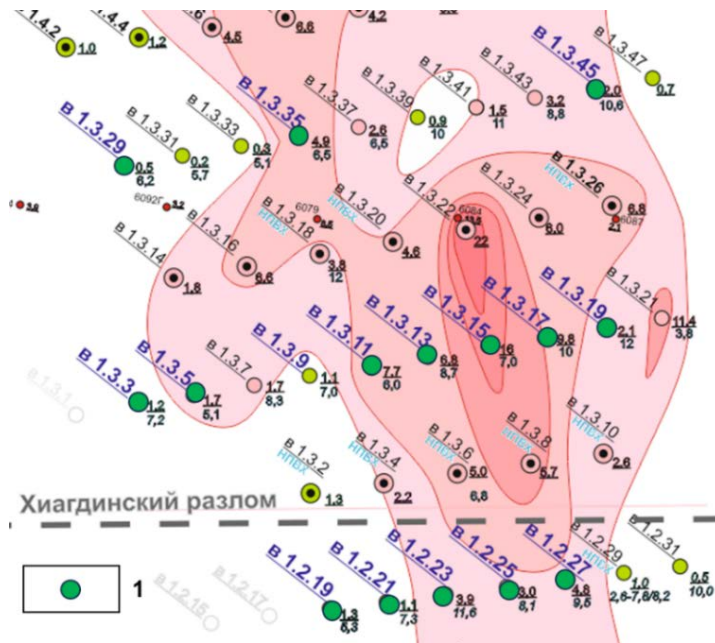


Рисунок 1.20. Расположение скважин, в которых выполнены ГК и КНД-М каротажные исследования.
1 – опытная скважина

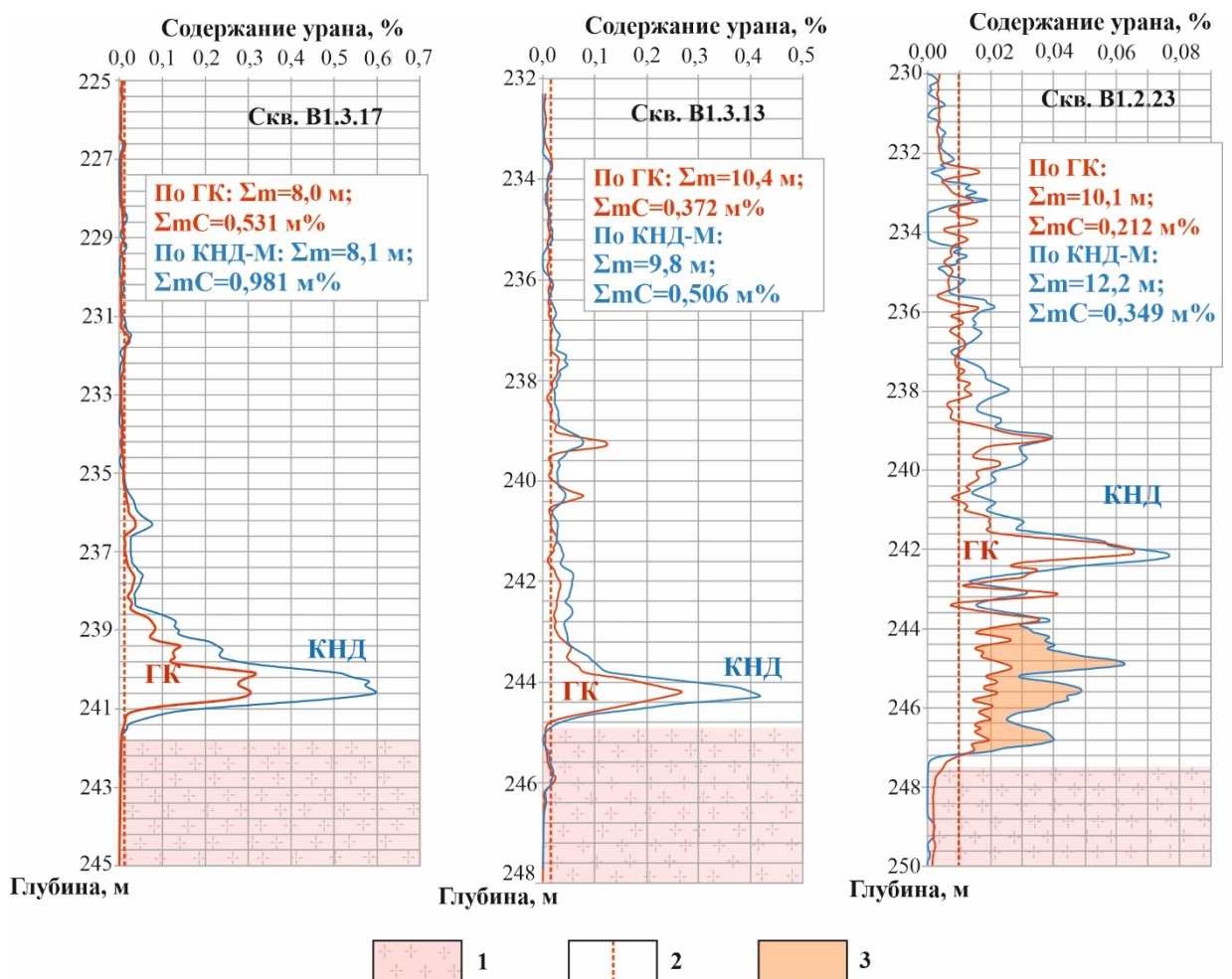


Рисунок. 1.21 – Сопоставление диаграмм распределения содержаний урана по данным ГК и КНД-М каротажей по скважинам блока В.1.3 [47].
1 – породы кристаллического фундамента; 2 – бортовое содержание U=0,01%;
3 – зона максимального расхождения данных ГК и КНД-М

Характерной особенностью рассматриваемых блоков является значительное занижение линейной продуктивности большинства скважин методом ГК относительно КНД-М. Такое расхождение преимущественно связано с недооценкой фактора «отжатия» радона при интерпретации результатов ГК.

Сопоставление результатов интерпретации данных первичного и контрольного ГК для выборки из 23 скважин, в которых были проведены наблюдения методом ГК показало, что после остановки прокачки скважин значение суммарной мощности рудных интервалов возросло с 125,7 м до 215 м, а значение суммарного mC увеличилось с 4,17 м% до 8,87 м% [48].

Выводы по главе 1:

1. На примере блока В1.3 показано, что расчёт поправки на «отжатие» радона существенно превышает принятую для месторождения Вершинное величину 1,1. Применение коэффициента 1,1 при интерпретации гамма каротажа на участке месторождения приводит к систематическому занижению линейной продуктивности скважин и к возрастанию случайных погрешностей при определении параметров рудных интервалов. Сопоставление данных ГК и КНД-М с результатами ГО подтверждает наличие значимого систематического занижения средней продуктивности по ГК.

2. Влияние радона при определении параметров рудных интервалов методом ГК имеет локальный характер и пространственно приурочено к нижней части палеодолины В1.

3. Данным фактором можно пренебречь при грубой оценке запасов на стадии разведки месторождения, но она не допустима при переводе запасов из категорий С1 и С2 в категорию В на стадии вскрытия рудных залежей технологическими скважинами, так как повлияет на учет исходных запасов урана и их погашение при СПВ.

4. Метод КНД-М может применяться в качестве контрольного для верификации данных гамма-каротажа в период геологоразведочных работ, а также на этапе горно-подготовительных работ — в условиях отсутствия данных по геологическому опробованию.

5. Всего с момента внедрения КНД-М в АО «Хиагда» в 2017 году по 2024 год выполнено 269 каротажей на различных стадиях освоения месторождений ХРП. Достигнутый экономический эффект за счет исключения кернового бурения и химико-аналитических определений изотопов урана, радия, тория и калия составил 300,6 млн руб. (Приложение Ж).

Первое защищаемое положение:

Включение в комплекс геофизических исследований скважин метода прямого определения концентраций урана на месте залегания руд обеспечивает повышение достоверности оценки промышленных запасов урана в сложных радиологических условиях месторождений Хиагдинского рудного поля.

ГЛАВА 2. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСХОДНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УРАНА В РУДАХ ПО ГАММА-КАРОТАЖУ И КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ НЕДР В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (СПВ)

2.1. Реконструкция исходных содержаний урана на стадии отработки рудных залежей СПВ по данным гамма-каротажа

Целью контроля и управления СПВ урана *in situ* является оценка степени извлечения урана из руд. Этот контроль должен выполняться на протяжении всего СПВ вплоть до достижения проектного уровня извлечения урана из руд – 80%. Наибольший экономический эффект СПВ достигается при оптимальной сети вскрытия рудных залежей технологическими скважинами и максимальном темпе их отработки СПВ. Достичь этого эффекта можно при обеспечении оптимальной производительности технологических скважин, максимальной локализации потока выщелачивающих растворов в пределах рудного тела и минимизации техногенного переотложения урана в рудоносном горизонте. Извлечение переотложенного урана достигается применением различных технологий: изменение направления потока выщелачивающих растворов (реверс) и/или сгущение сети технологических скважин.

Крайне редко для контроля и управления процессом извлечения урана из руд *in situ* применялось режимное бурение контрольных скважин с керном на начальной, основной и заключительной стадиях СПВ [63]. Такая технология очень трудоемкая и дорогостоящая и не применима в промышленных масштабах.

Оценка степени выщелачивания и техногенного переотложения урана в рудоносном горизонте методом гамма-каротажа не применима, т.к. радий сохраняется на месте залегания выщелачиваемых серноокислыми растворами урановых руд.

Изучение извлечения урана в процессе отработки урановой Залежи 5 Букинайского месторождения серноокислотным СПВ в Кызылкумском урановорудном районе (Узбекистан) по изменению величины коэффициента $U-Ra$ радиоактивного равновесия показало, что в зоне полного извлечения урана из руд

(> 80 %) в 5 метрах от закачной скважины, K_{pp} смещается от 1 в сторону радия и достигает значения 1,90 отн. ед. [62]. Это доказывает, что радий в выщелоченных рудах сохраняется на месте залегания.

Исследованиями в более жестких кислотных условиях при извлечении урана из измельченной руды в пачуках на гидрометаллургических заводах, доказано, что при сернокислотном выщелачивании извлечение радия не превышает 5% и гамма-активность после выщелачивания урана остается на уровне близком к исходным значениям [37]. Природа этого явления связана с низкой растворимостью сульфатов радия, рассмотренная в **разделе 1.4**, а также иллюстрируется конкретными примерами в этом разделе диссертации.

Сохранение радия в рудах и, как следствие, гамма-активности, с одной стороны, не позволяет использовать гамма-каротаж для контроля процесса извлечения урана из руд методом СПВ, а с другой — предоставляет уникальную возможность реконструировать исходные концентрации урана при бурении контрольных и перебурировании аварийных технологических скважин [27].

Реконструкция исходных концентраций урана по ГК осуществляется по результатам одновременного проведения КГ и КНД-М в контрольной, перебуриваемой или добуриваемой технологической скважины. Исходная концентрация урана в рудах определяется с использованием поправок $K_{pp} = 1$, $P_{Rn} = 1,1$, принятых для всего месторождения Вершинное по данным разведки. Остаточная концентрация урана устанавливается по данным КНД-М. Площадь между этими кривыми — извлечение урана из руд в процентах.

2.2. Выявление зон выщелачивания и переотложения урана

Исследования методом каротажа мгновенных нейтронов деления на основной стадии отработки урановых рудных залежей проводятся с целью: контроля извлечения урана из руд во время сгущения сети технологических скважин и перебурировании аварийных скважин; уточнения внутреннего строения рудных тел методом реконструкции содержаний урана по данным гамма-каротажа; выявления техногенно переотложенного урана.

На этой стадии наиболее информативным методом контроля СПВ в недрах является КНД-М совместно с реконструированными по ГК исходными содержаниями урана.

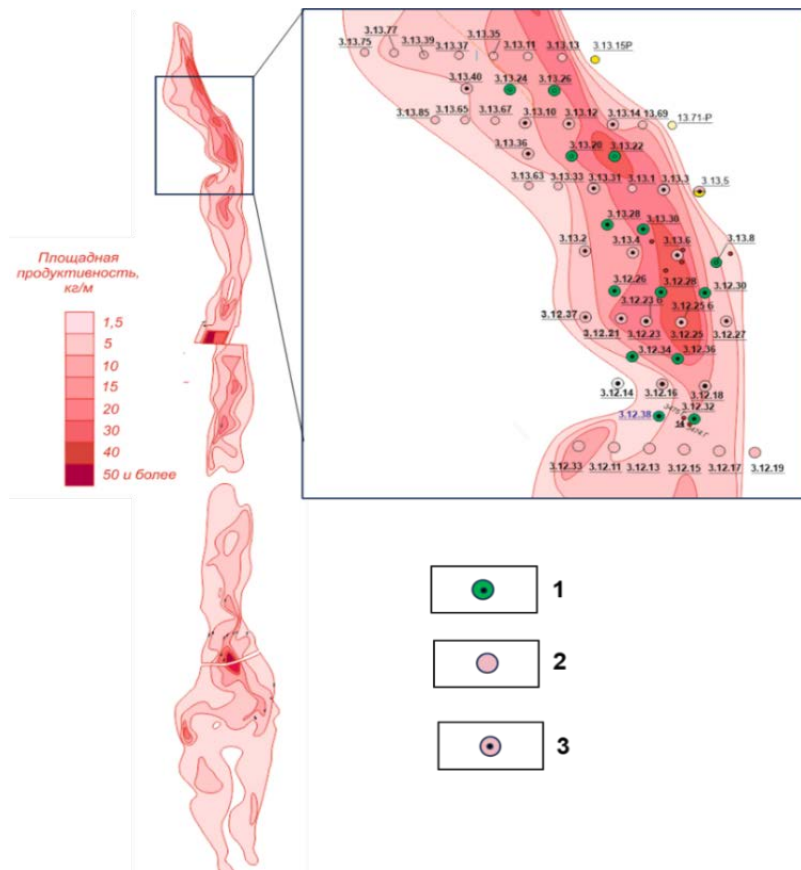


Рисунок 2.1. Карта удельной площадной продуктивности Залежи X3 месторождения Хиагдинское и участок опытных работ на блоке В1.13 с применением метода КНД-М в верховье палеорусловых отложений. Скважины: 1 – опытная; 2 – закачная (нагнетательная); 3 – откачная

Такой методический прием реконструирования исходных концентраций урана по ГК с использованием поправок $K_{pp} = 1$, $P_{Rn} = 1,1$, использован для определения степени извлечения урана из руд при сгущении сети технологических скважин на действующих блоках X3.12 и X3.13 Залежи X3 Хиагдинского месторождения (рис. 2.1) [27].

Описание геологического строения, гидрогеологических и геотехнологических условий месторождения Хиагдинское приведено в отчете [56].

На действующих Блоках X3.12 и X3.13, расположенных в верховье палеорусловых отложений залежи X3, каротажи методами ГК и КНД-М

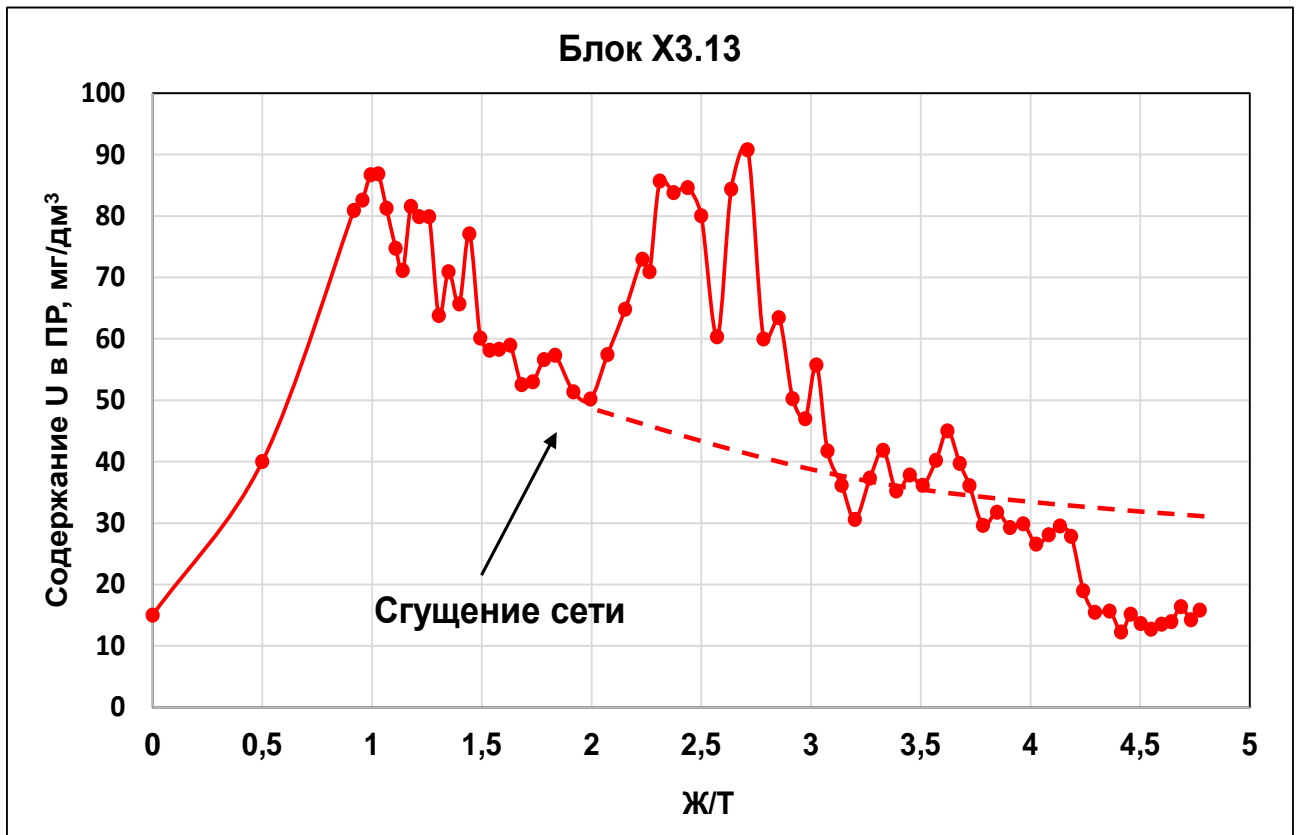


Рисунок 2.2. Содержание урана в продуктивных растворах при извлечении из блока X3.13

выполнены в 13 дополнительно пробуренных скважинах между существующими рядами технологических скважин .

Низкий темп отработки блока X3.13 в период с сентября 2018 года по июль 2020 года (**рис. 2.2**) обусловлен слабой обводненностью верхней части водоносного горизонта, что проявлялось в низкой производительности эксплуатационных ячеек (2-3 м³/ч). В связи с этим на исследованных блоках ожидалась достаточно высокая остаточная продуктивность [48].

С целью проверки этого предположения в 13 скважинах блоков ХЗ.12 и ХЗ.13 были выполнены комплексные геофизические исследования методами ГК и КНД-М. Результаты этих исследований подтвердили это предположение. Во всех 13 изученных скважинах установлены большие количества остаточного урана. Типичные примеры приведены на **рис. 2.3**.

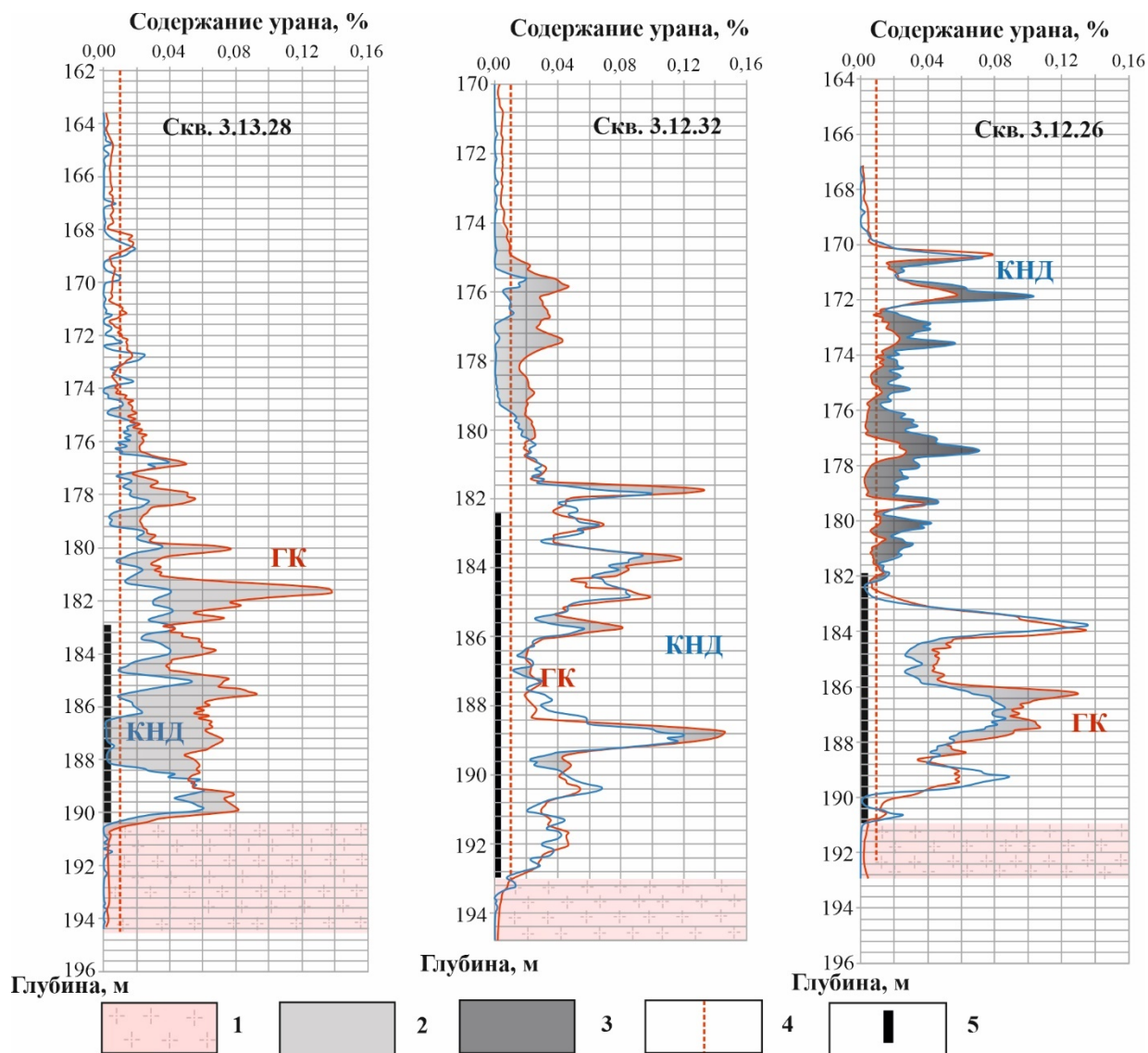


Рисунок 2.3. Низкая степень извлечения урана из руд технологических блоков 3.12 и 3.13, осложненная техногенным переотложением урана. По данным ГК и КНД-М в добуренных скважинах при сгущении сети.

- 1 – породы кристаллического фундамента; 2 – зона выщелачивания урана;
- 3 – зона техногенного переотложения урана; 4 – бортовое содержание урана 0,01%;
- 5 – фильтр технологической скважины

Сопоставление результатов определения реконструированных по ГК содержаний урана с его содержанием по данным КНД-М на блоках ХЗ.12 и ХЗ.13

показывает, что в районе скважин 3.13.28 и 3.12.32 до сгущения сети технологических скважин, шло медленное извлечение урана из руд, тогда как в области скважины 3.12.26 извлечение урана из рудоносных отложений протекало крайне слабо и даже наблюдалось переотложение урана в надрудной части пласта.

Расчеты, выполненные по 9 добуренным скважинам на блоках Х3.12 и Х3.13, позволили установить, что остаточная суммарная продуктивность между рядами скважин действующих технологических блоков от исходной суммарной продуктивности составила 91% (без учета переотложенного урана), а в зоне

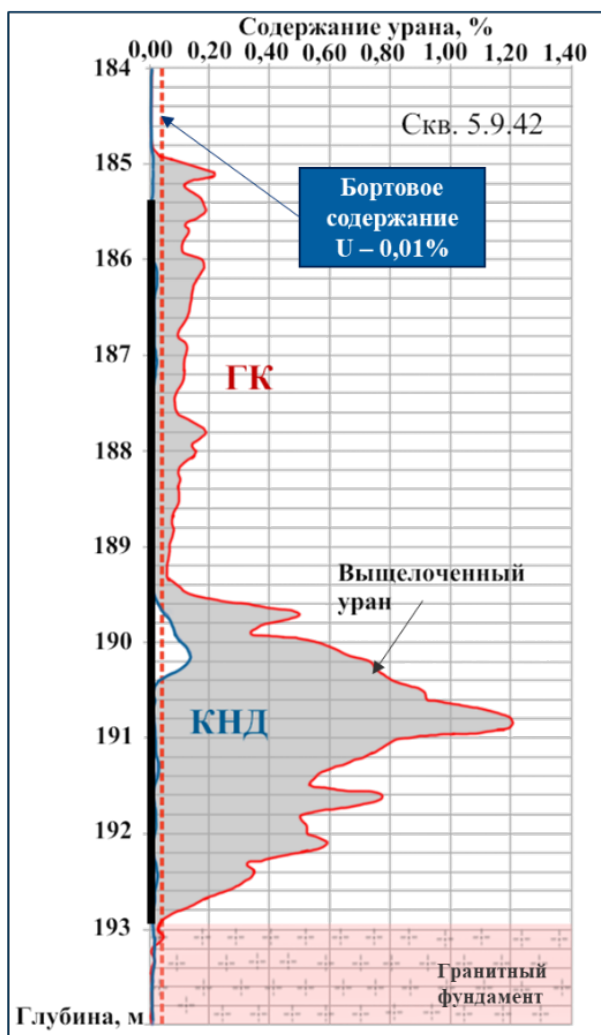


Рисунок 2.4. Полное извлечение урана из руд по данным сопоставления ГК и КНД-М по скважине блока 5.9 залежи Х5 Хиагдинского месторождения

переотложения продуктивность суммарно увеличилась на 14,2% (см. рис. 2.3).

На Залежи Х5 месторождения Хиагдинское для оценки остаточного содержания урана в рудах в существующих технологических скважинах использованы результаты первичного гамма-каротажа (рис. 2.4), полученного при сооружении технологических скважин до начала эксплуатации блоков. В этом случае реконструкция исходного содержания урана не требуется и достоверность оценки намного выше [48].

Результаты КНД-М, полученные в технологических скважинах блоков Х5.9 и Х5.13, отработанных до проектного уровня — 80%, и расположенных в центральной части залежи Х5 иллюстрируют высокую степень и темп

отработки урановых руд, чему способствовали благоприятные условия, а именно

достаточная обводненность рудоносных отложений и, как следствие, хорошая производительность эксплуатационных ячеек (Q — 5–6 м³/ч).

В районе скважины Х5.9.42 процесс СПВ урана практически завершен.

Выводы:

- во время сгущения сети в технологических скважинах выполняется КНД-М для верификации обрабатываемых запасов урана, выявления зон извлечения и техногенного переотложения урана;

- реконструкция исходных содержаний урана по ГК на стадии отработки урановых рудных залежей СПВ в сравнении с остаточными содержаниями урана методом КНД-М позволяет оценивать степень извлечения урана из недр и определять объем запасов урана в зонах его техногенного переотложения.

2.3. Результаты внедрения нерегулярных сетей вскрытия участков рудных залежей технологических скважин при контрастном распределении урана в рудах

2.3.1. Выбор оптимальных параметров регулярных сетей вскрытия рудных залежей технологическими скважинами. С 2011 года геотехнологическое математическое моделирование [11] внедрено автором диссертации в АО «Хиагда» и применяется при планировании и проектировании горно-подготовительных работ на всех месторождениях Хиагдинского рудного поля.

Далее приводится пример выбора оптимальной сети вскрытия залежи В1 месторождения Вершинное (рис. 2.5–2.6).

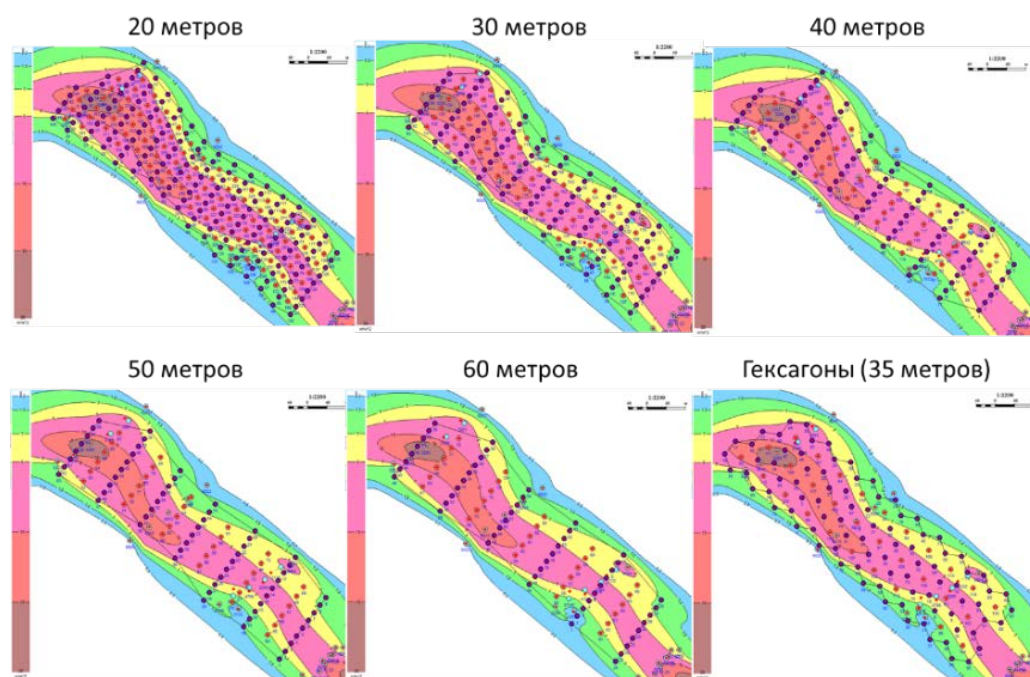


Рисунок 2.5. Варианты сетей вскрытия участка рудной залежи технологическими скважинами. Распределение удельной площадной продуктивности рудоносного пласта

На основе анализа многовариантных геотехнологических расчётов с использованием исходных данных (табл. 2.1 и 2.2) выбрано оптимальное расстояние между рядами скважин (40 м) для вскрытия участка залежи В1 месторождения Вершинное, обеспечивающее, как высокий темп добычи урана, так и низкую себестоимость единицы готовой продукции. Последующая отработка залежи В1 показала правильность принятого решения.

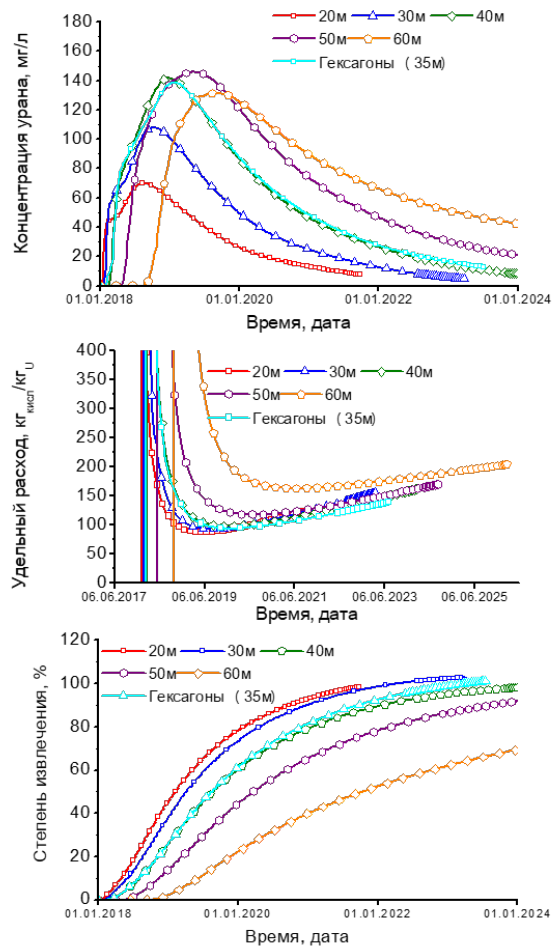


Рисунок 2.6. Оптимизационные кривые. Зависимости геотехнологических показателей отработки рудной залежи от времени для различных схем вскрытия

Таблица 2.1. Геотехнологические параметры участка рудной залежи для различных схем вскрытия

Параметры	Ед. изм.	20м	30м	Гексагоны 35м	40м	50м	60м
Дебит блока	м ³ /ч	621,02	341,54	228,80	225,0	152,21	115,10
Средний дебит откачной скважины	м ³ /ч	7,14	5,89	7,38	5	4,48	3,97
Количество скважин зак./отк./сумм	шт	154/87/241	101/58/159	88/31/119	79/45/124	63/34/97	54/29/83
Исходный запас урана	т	665,23	619,29	653,89	663,17	601,40	609,93
Средняя продуктивность	кг/м ²	6,34	6,25	6,63	6,43	6,21	6,28
Площадь блока	тыс.м ²	104,97	99,10	98,65	103,20	96,80	97,14
Средняя рудная мощность	м	9,32	9,44	9,30	9,35	9,48	9,49

Таблица 2.2. Прогнозные геотехнологические показатели отработки участка рудной залежи для различных схем вскрытия

Показатели	Ед. изм.	20м	30м	Гексагоны 35м	40м	50м	60м
Средний темп извлечения	кг/сут	702,23	589,36	493,73	475,23	315,42	172,06
Среднее время контакта	сут	9,84	17,12	25,06	26,79	37,70	50,05
Ж/Т на момент 80%	м ³ /т	6,28	4,00	3,45	3,40	3,30	4,62
Время отработки до 80%	лет	2,08	2,30	2,90	3,06	4,18	7,76
Максимальная концентрация урана в ПР	мг/л	70,09	107,90	138,70	141,60	145,90	131,20
Концентрация урана на момент 80% извлечения	мг/л	24,63	39,48	51,30	44,97	43,08	32,46
Средняя концентрация урана в ПР	мг/л	48,12	72,90	90,90	89,00	87,34	63,29
Масса извлеченного урана	т	532,56	495,66	523,32	530,74	481,15	487,95
Концентрация кислоты на момент 80% извлечения	г/л	10,19	7,78	5,86	5,44	3,46	2,43
Средняя концентрация кислоты в ПР	г/л	9,69	6,95	4,92	4,5	2,56	1,44
Расход кислоты	тыс. т	50,09	49,25	52,50	57,54	63,70	97,88
Удельный расход кислоты	кг/кг	94,06	99,37	100,32	108,42	132,39	200,60
Кислотоемкость	кг/т	27,84	28,61	31,10	32,43	37,71	57,72

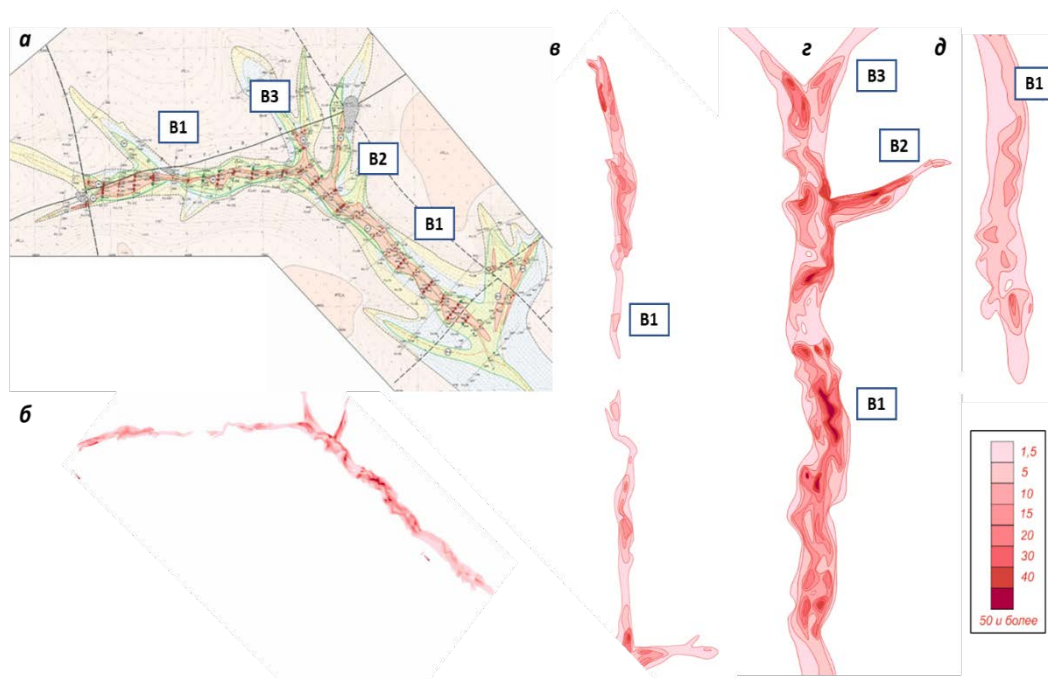


Рисунок 2.7. Урановые рудные залежи месторождения Вершинное на геолого-структурной карте (а) и карта удельной площадной продуктивности (кг U/m^2) (б) с участками детализации: в – верховье, г – центральная часть, д – низовье палеодолины. Обозначения в квадратных рамках – номера залежей.

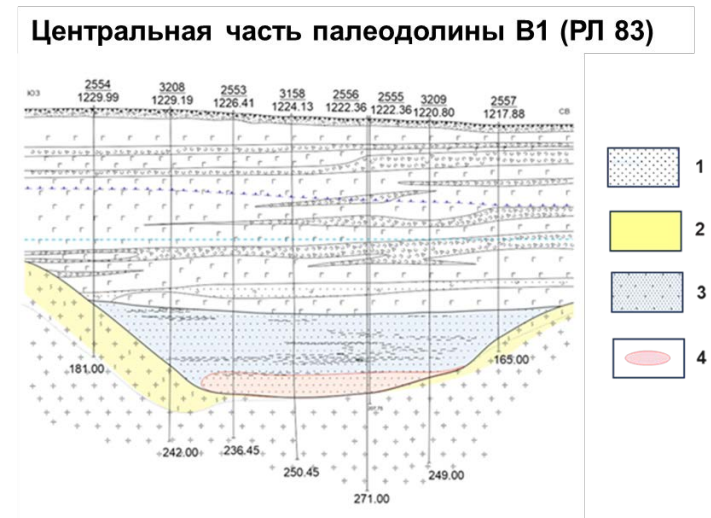


Рисунок 2.8. – Линзовидная морфология рудного тела в поперечном разрезе.

- 1 – аллювиальные отложения; 2 – зона
грунтового окисления; 3 – осветленные
аллювиальные отложения;
4 – рудоносные терригенные отложения

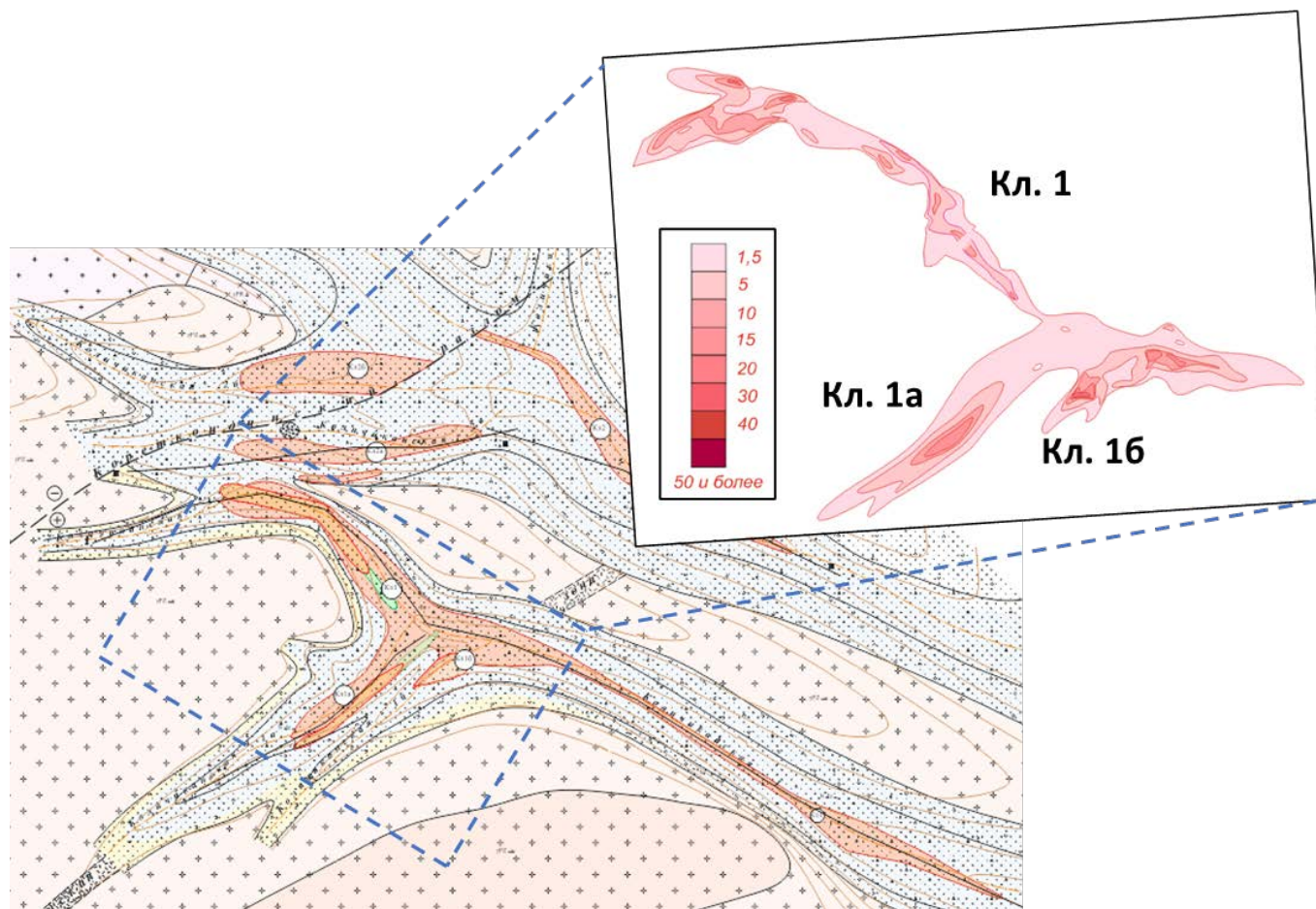


Рисунок 2.9. Геолого-структурная карта и фрагмент карты удельной площадной продуктивности на месторождении Количиканское

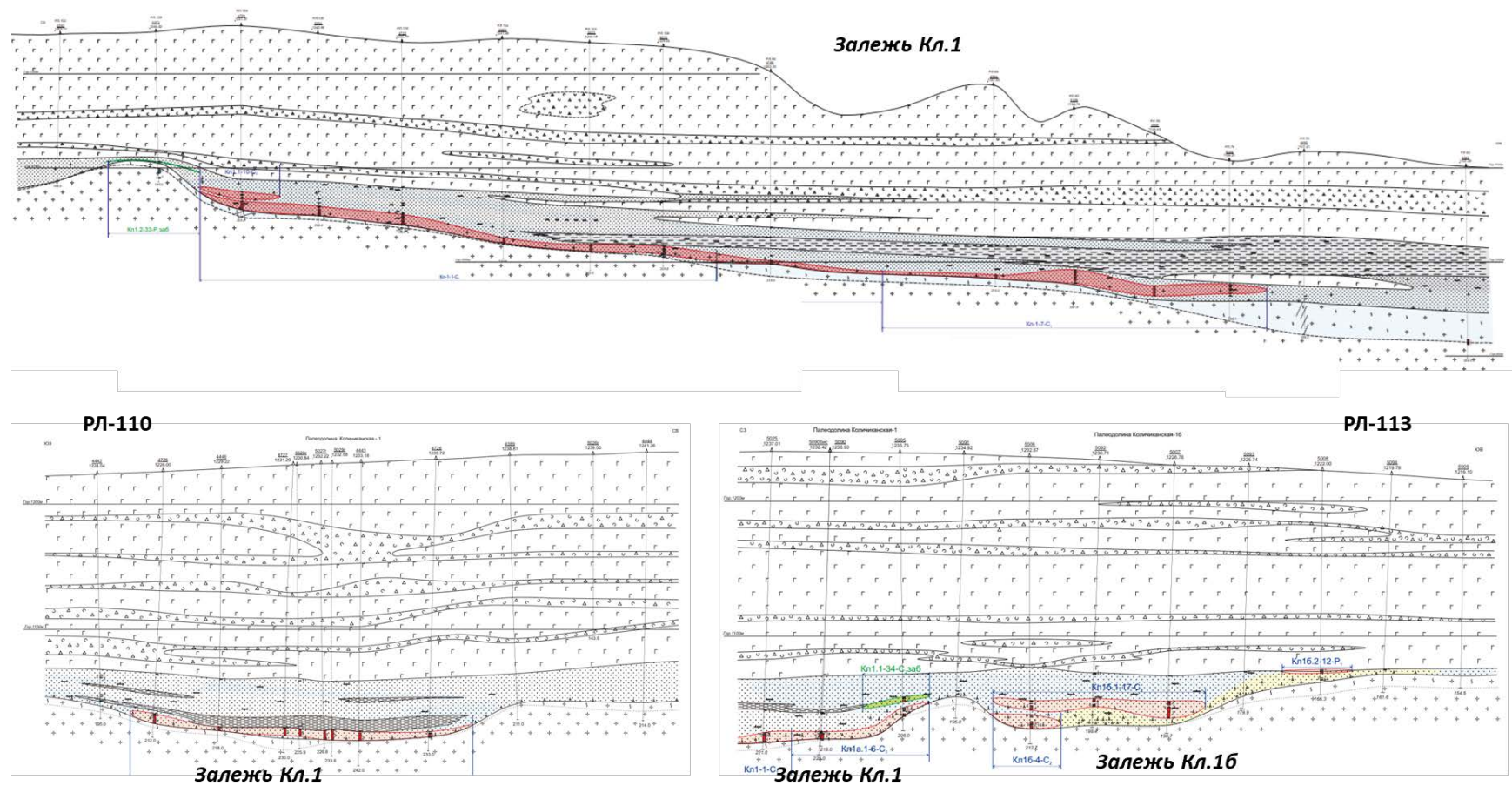


Рисунок 2.10. Продольный и поперечные геологические разрезы через рудные залежи месторождения Количиканское

2.3.2. Контрастное распределение урана в рудах в залежах месторождений ХРП. Используемые расстояния между разведочными линиями 175–400 м не позволяют детально изучить внутреннее строение залежей. Вскрытие этих рудных объектов технологическими скважинами при расстоянии между рядами технологических скважин 40 м дают возможность детально исследовать внутреннее строение залежей и проанализировать распределение урана в рудах по их площади.

В отличие от пластово-инфильтрационных месторождений Средней Азии на палеодолинных месторождениях витимского типа источник урана (витимканские гранитоиды), зона грунтового окисления, развивающаяся от бортов и верховьев палеодолин, и постоянно действующий неподвижный восстановительный геохимический барьер накопления урана пространственно сопряжены и совмещены [21, 69]. Рудные тела в плане повторяют контуры палеодолин и овражно-балочной сети (**рис. 2.7 и 2.9**), имея лентообразную форму. В поперечном разрезе рудные тела преимущественно линзовидной формы (**рис. 2.8 и 2.10**). В этих залежах отсутствует мешковая и крыльевая части рудного тела. Содержания урана в рудах возрастают в направлении от кровли к подошве рудного интервала [24].

Рудные залежи на месторождениях ХРП также двух типов: с контрастным (см. **рис. 2.7**) и однородным (см. **рис. 2.9**) распределением урана по площади. При контрастном распределении урана наиболее богатые руды с содержанием U до 3,5% и удельной площадной продуктивностью до 75 кгU/м² приурочены к тальвегам палеодолин и палеооврагов.

Внутреннее строение рудных залежей установленное преимущественно гамма-каротажными исследованиями уточняется применением метода КНД-М.

2.3.3. Внедрение нерегулярных сетей вскрытия рудных залежей технологическими скважинами. В АО «Хиагда» при узкой форме рудных тел в основном используют рядные системы расположения технологических скважин. Применяют регулярные и предложенные автором диссертации

нерегулярные, адаптивные [27, 54] сети расположения технологических скважин.

В условиях контрастного распределения урана в залежах целесообразно перейти от регулярных к нерегулярным сетям расположения технологических скважин [21].

Автором диссертации предложены две технологии, внедренные в АО «Хиагда».

Двухэтапная технология: сначала вскрытие рудной залежи технологическими скважинами выполняется по регулярной сети и в случае выявления участков рудных залежей с удельной площадной продуктивностью > 15 кг урана на 1 м^2 производится сгущение сети. Вторая технология – сгущение сети технологических в процессе СПВ.

Технология сгущения сети с самого начала СПВ дает высокий технологический и экономический эффект. Такая технология применялась для отработки СПВ блоков В1.21 и В1.22 в верховье залежи В1 (рис. 2.11).

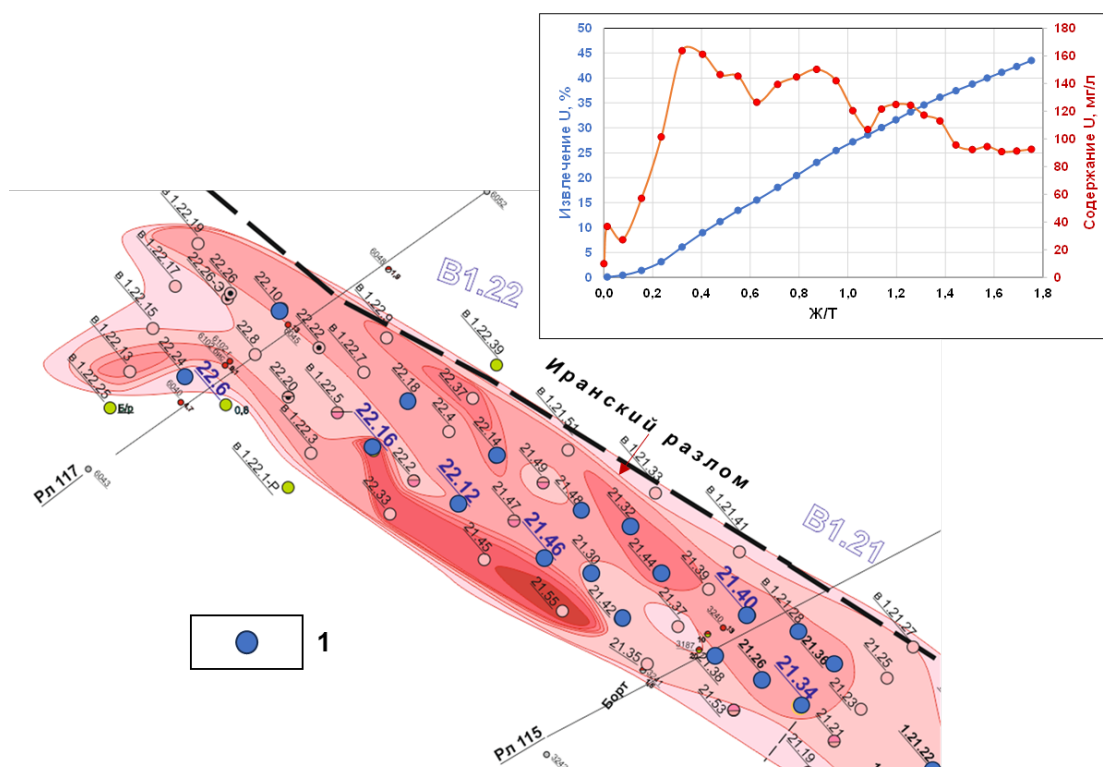


Рисунок 2.11. Результаты применения нерегулярной сети расположения технологических скважин в верховьях палеодолины В1. Карта удельной площадной продуктивности и выходная и куммулятивная кривые извлечения урана из руд на блоке В1.21.

1 – скважина сгущения

В регулярную сеть скважин с расстоянием 50 м между рядами дополнительно включены 13 технологических скважин разного назначения. Из них в 6 скважинах выполнен каротаж методом КНД-М, что позволило уточнить внутреннее строение залежи на этом участке и определить основные радиологические характеристики руд (K_{PP} , P_{Rn} и P_K).

Эффективность этой технологии очевидна. Бедные и богатые руды обрабатываются почти одновременно. При умеренной продуктивности пласта 5–15 кг U/m², содержание урана в продуктивных растворах уже при 6 % извлечения урана из недр достигло 164 мг/дм³ (см. **рис. 2.11**). Интенсивность отработки участка рудной залежи увеличилась в 1,6 раза по сравнению с отработкой аналогичных эксплуатационных блоков, вскрытых по регулярной сети.

2.3.4. Результаты применения нерегулярных сетей в ходе отработки урановых рудных залежей. Эта технология получила широкое применение в АО «Хиагда». Такой пример сгущения сети на блоках В1.9 и В.1.10 в центральной части залежи В1 месторождения Вершинное приведен на **рис. 2.12–2.14**.

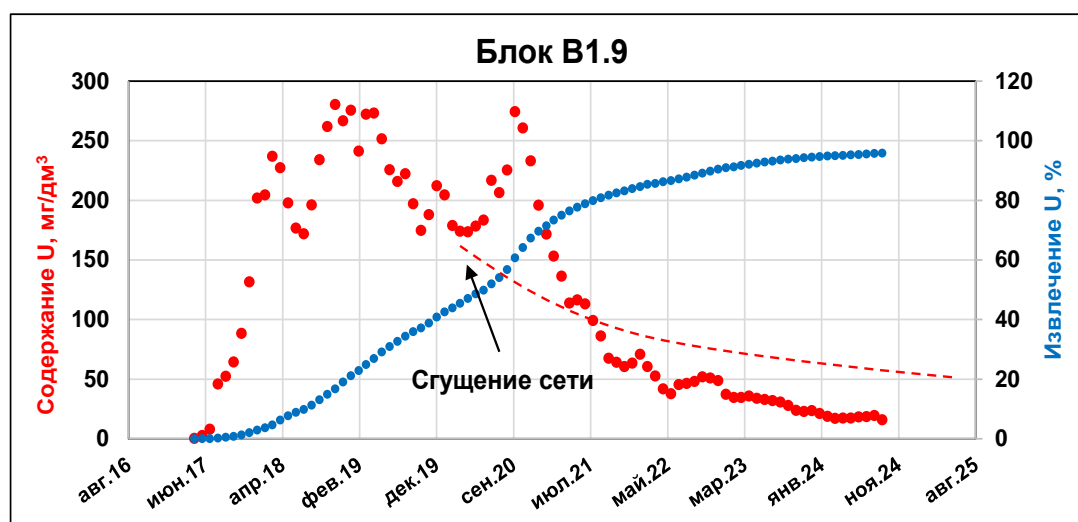


Рисунок 2.12. Эффект от сгущения сети технологических скважин на блоке В1.9 виден на графиках содержания урана в продуктивных растворах и степени извлечения урана из руд. Красным пунктиром показан прогноз изменения концентрации урана в ПР без сгущения сети

На графике содержаний урана в продуктивных растворах эффект от сгущения сети технологических скважин виден по появлению второго всплеска содержания урана в продуктивных растворах и увеличению темпа отработки

блока СПВ по росту крутизны кумулятивной кривой извлечения урана (см. рис. 2.12).

Следующий пример эффективности, предложенной автором технологии, показан на рис. 2.13.

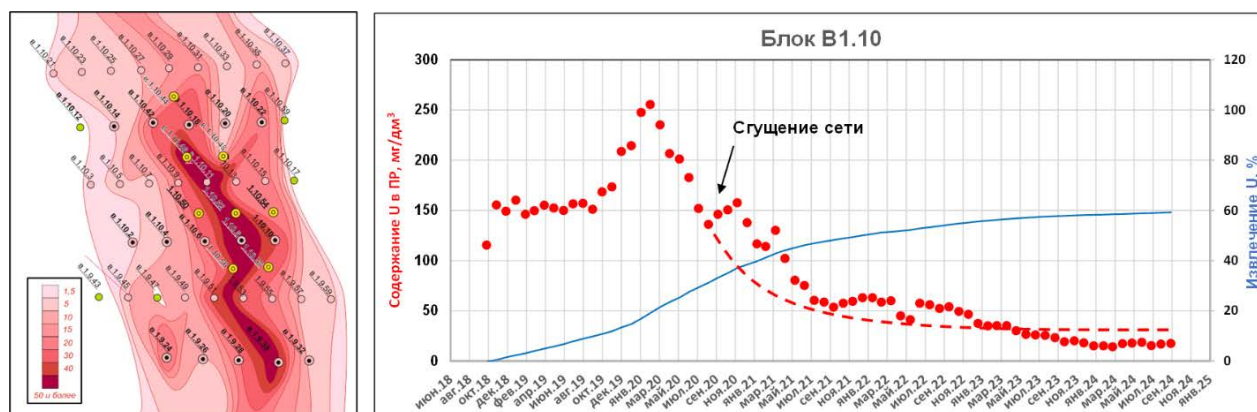


Рисунок 2.13. Нерегулярная сеть вскрытия блока В.1.10 технологическими скважинами. Увеличение содержания урана в продуктивных растворах со 136 до 158 мг/дм³ при сгущении сети технологических скважин на блоке В.1.10. Красным пунктиром показан прогноз изменения концентраций урана в ПР без сгущения сети.

Фрагмент карты удельной площадной продуктивности залежи В1 (кг U/м²). Черные кружки — технологические скважины регулярной сети, желтые кружки — технологические скважины сгущения, зеленые кружки — скважины, вскрывшие некондиционные руды.

Выводы по главе 2:

1. При контрастном распределении урана в рудах весьма эффективным является применение метода сгущения сети технологических скважин в процессе отработки участков рудных залежей, что позволяет бедные и богатые руды обрабатывать почти одновременно.

2. Во время сгущения сети в технологических скважинах выполняется КНД-М для верификации отработки запасов урана, выявления зон извлечения и техногенного переотложения урана.

3. Реконструкция исходных содержаний урана по ГК на стадии отработки урановых рудных залежей СПВ в сравнении с остаточными содержаниями урана методом КНД-М позволяет оценивать степень извлечения урана из недр и определять объем запасов урана в зонах его техногенного переотложения.

4. Сгущение сети технологических скважин на стадии отработки рудных залежей СПВ применялось в АО «Хиагда» на залежах Х3, Х5 и Х6 месторождения Хиагдинское, на залежи В1 месторождения Вершинное и на залежи И1 месторождения Источное. Во всех случаях темп отработки эксплуатационных блоков увеличился в 1,2 – 1,6 раза, а бурение дополнительных технологических скважин окупилось в первые годы их эксплуатации

5. Применение нерегулярных сетей за счет сокращения времени отработки эксплуатационных блоков и, как следствие, уменьшения операционных затрат на серную кислоту, электроэнергию и оплату труда обслуживающего персонала позволило получить достигнутый экономический эффект 2,2 млрд. руб. (**Приложение Ж**).

Второе защищаемое положение:

Способ количественной оценки степени извлечения урана из рудных залежей на основной стадии скважинного подземного выщелачивания, основанный на реконструкции исходных концентраций урана по данным гамма-каротажа и определении текущих концентраций урана по данным каротажа мгновенных нейтронов деления позволяет оперативно применять методы интенсификации добычи и рационально вести процесс извлечения урана.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ПОВЫШАЮЩЕЙ ПОЛНОТУ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХРП МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Основной задачей использования комплекса методов на заключительной стадии отработки урановых рудных залежей СПВ является обеспечение полноты освоения недр и принятие решения для перехода на стадию рекультивации [1]

Выявление целиков урановых руд в отложениях рудоносного горизонта и оценка остаточного и техногенно переотложенного урана в целиках выполняется применением комплекса методов: геотехнологическое математическое моделирование, безкерновое бурение контрольных скважин и каротаж мгновенных нейтронов деления.

3.1. Применение геотехнологического математического моделирования на объектах СПВ урана

Компьютерное геотехнологическое моделирование широко используется для создания цифровых эпигнозных и прогнозных моделей, применяемых для оценки эффективности новых технологий, а также оценки текущего состояния геотехнологической системы.

Геотехнологическое математическое моделирование отработки залежей месторождений ХРП проводится с помощью разработанного СТИ НИЯУ МИФИ программного комплекса «КУРС» [11, 52, 53]. Программный комплекс «КУРС», является частью интегрированного геотехнологического информационно-моделирующего комплекса ХиагДИТ, предназначенного для оптимизации и управления процессом подземного выщелачивания (рис. 3.1). Программный комплекс «КУРС» позволяет создавать геолого-технологические модели рудоносного горизонта и проводить численное моделирование сернокислотного СПВ урана [27].

Работа программного комплекса «КУРС» основана на комплексной физико-химической гидродинамической модели СПВ урана, базирующейся на усовершенствованной теории физико-химической гидродинамики [7, 11, 28, 54, 81].



Рисунок 3.1. Структура геотехнологического информационно-моделирующего комплекса ХиагДИТ

Модель описывает основные гидродинамические и физико-химические процессы, протекающие в рудоносном горизонте при подземном выщелачивании урана, и включает в себя двух или трёхмерные расчеты распределения давления, скорости фильтрации растворов, конвективного массопереноса и гидродинамической дисперсии, гомогенных и гетерогенных процессов при взаимодействии выщелачивающего раствора с урансодержащими минералами и вмещающей породой, растворение - осаждение минералов, гомогенные и гетерогенные кислотно-основные и окислительно-восстановительные процессы, комплексообразование.

Геотехнологические расчеты осуществляются с учетом фильтрационных, минералогических и геологических особенностей строения рудоносного горизонта, реальных режимов работы технологических скважин и составов нагнетаемых растворов. Параметры модели определяются на основе сравнения данных геотехнологических опробований, опытно-промышленных испытаний, наблюдений за промышленной отработкой блоков с результатами эпигнозных расчетов (рис. 3.2) [27].

Математическая модель подземного выщелачивания выражена системой дифференциальных уравнений в частных производных, определяющих

изменения напора, концентраций урана, кислоты и окислителя в растворе, а также содержаний урана, кислотопоглощающих минералов и восстанавливающих веществ в породе в зависимости от времени в различных точках рудоносного горизонта.

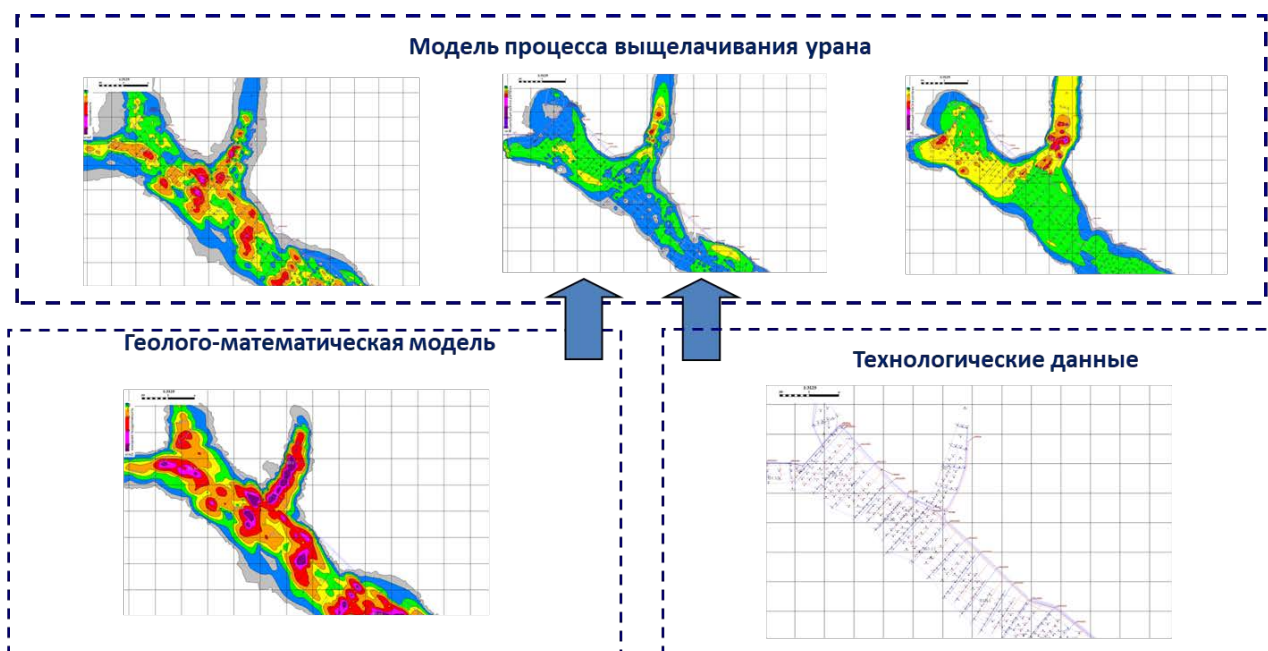


Рисунок 3.2. Модель, иллюстрирующая моделирование на основе геологических и технологических данных

Программный комплекс «КУРС», позволяющий проводить численное моделирование СПВ на персональном компьютере, создан с использованием метода конечных элементов для дискретизации математической модели.

Автор диссертации участвовал в разработке концепции и алгоритмов геотехнологического информационно-моделирующего комплекса ХиагДИТ, а также внедрял его в производство, предоставлял исходные данные для разработки конкретных математических моделей эксплуатационных блоков и участвовал в анализе полученных результатов [12 – 19, 25, 27, 54]. Результаты этих исследований приводятся в данной главе.

3.2. Локализация целиков урановых руд методом ГТММ

В научных трудах 1980-1990-х годов в рекомендациях о выводе рудных залежей из эксплуатации и погашении запасов, отработанных до проектного уровня 80%, предлагалось бурение контрольных скважин по регулярной сети между рядами технологических скважин [73]. Эта рекомендация сопряжена с

большими капитальными затратами.

Локализация поисков целиков урановых руд на заключительной стадии СПВ методом ГТММ позволяет существенно минимизировать объемы бурения контрольных скважин.

Целики или останцы урановых руд на завершающей стадии отработки эксплуатационных блоков сернокислотным СПВ урана возникают в связи с природными и техногенными факторами.

К первой группе факторов относится неоднородное распределение урана в рудах, высокая изменчивость литолого-фильтрационных свойств, минерального состава и геохимических свойств аллювиальных отложений, как по латерали, так и по вертикали рудоносного горизонта. Вторая группа факторов – это неравномерная проработка урановых руд выщелачивающими растворами, связанная, как с фильтрационными свойствами рудоносных отложений, так и с не оптимальным гидродинамическим режимом процесса из-за несбалансированной производительностью откачных и закачных скважин в эксплуатационных ячейках и блоках.

При скважинном подземном выщелачивании урана учет степени отработки запасов урана ведется по эксплуатационным блокам и рудным залежам общепринятым методом на основе регулярных замеров производительности откачных скважин и содержания урана в продуктивных растворах [11].

Например, на блоке В1.3 в низовье рудоносной палеодолины В1 месторождения Вершинное (см. **рис. 1.10**) по данным геотехнологического учета процесс СПВ завершился при Ж/Т 4,7 (**рис. 3.3**). Содержание урана в продуктивных растворах (ПР), извлекаемых из блока, снизилось меньше концентрации 15 мг/дм³, а степень извлечения урана даже превысила проектный уровень – 87% (см. **рис. 3.3**). На основании достигнутых показателей блок В1.3 можно выводить из эксплуатации. Но результаты геотехнологического компьютерного моделирования показывали, что в блоке остался останец урановых руд с удельной площадной продуктивностью выше бортового

значения $1,35 \text{ кг U/m}^2$, в центральной части которого остались не обработанные СПВ руды с продуктивностью $5\text{--}10 \text{ кг U/m}^2$ (рис. 3.4).

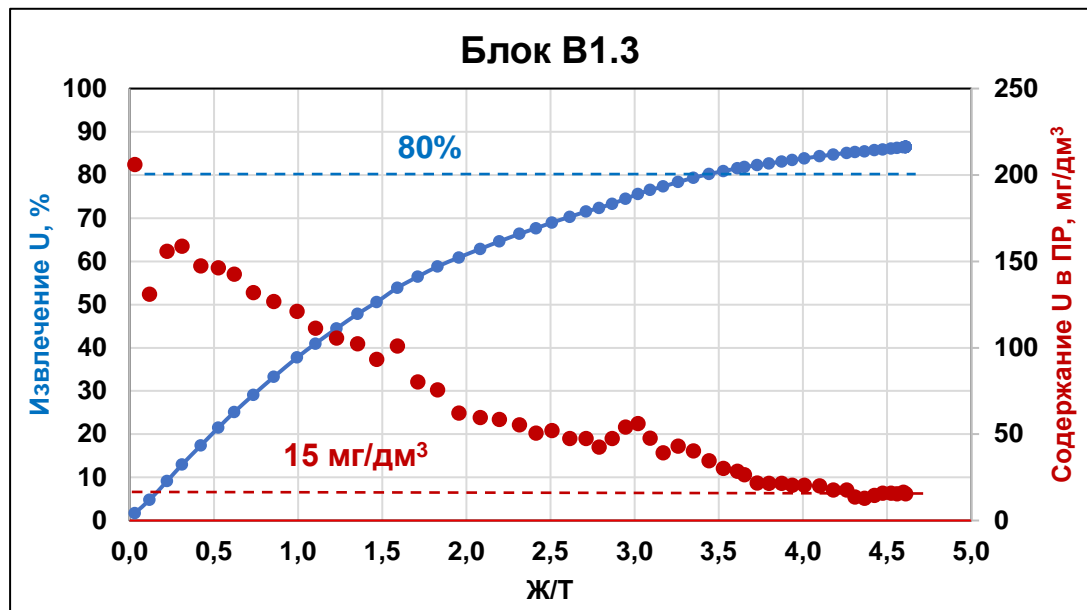


Рисунок 3.3. Содержание урана в продуктивных растворах и степень его извлечения из руд на блоке В1.3 залежи В1 месторождения Вершинное

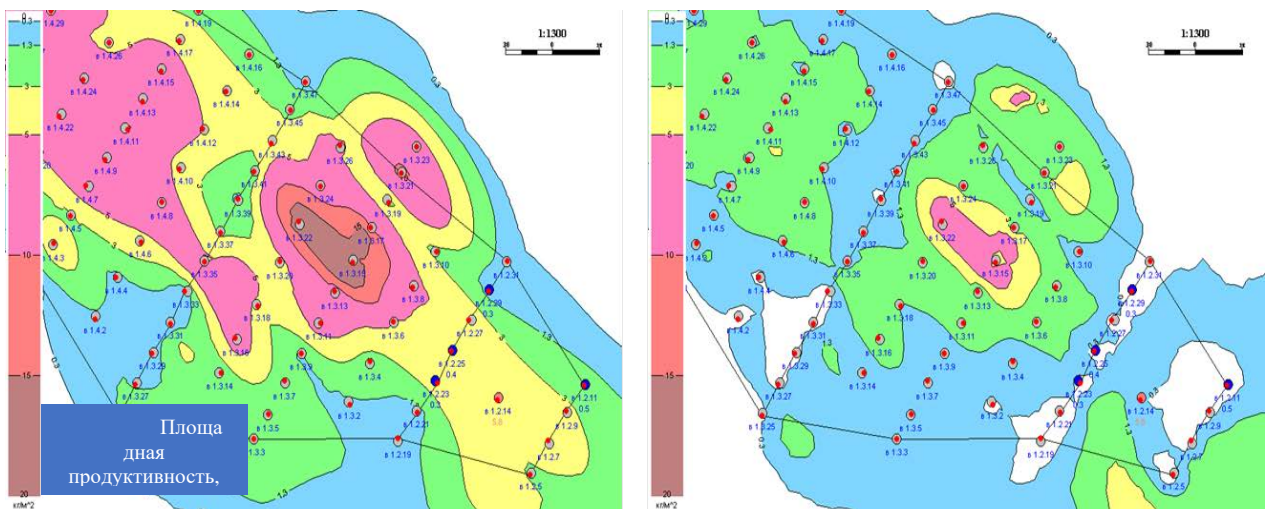


Рисунок 3.4. Исходная и остаточная удельная площадь продуктивность в кг U/m^2 на момент 80 % извлечения урана из руд блока В1.3

Таким образом, использование ГТММ позволяет локализовать поиски неотработанных целиков урановых руд при СПВ, исключает бурение большого количества контрольных скважин для оценки полноты отработки запасов и предоставляет уникальную возможность принимать технические решения по их доработке. Для извлечения урана из целиков могут использоваться разные способы. Например, в остановленном блоке включаются в работу из существующих технологических скважин только скважины в районе целика или

сооружаются дополнительные скважины разного назначения – откачные или закачные. Иногда используется реверс выщелачивающих растворов. Такими способами достигается полнота извлечения урана из недр и обеспечивается рациональное освоение месторождений.

3.3. Верификация методом КНД-М результатов локализации целиков урановых руд методом ГТММ

Результаты ГТММ, как и любые геологические модели, содержат ряд погрешностей, связанных с невозможностью с достаточной подробностью описать неоднородность свойств и состава геологической среды. Чтобы достичь такой детальности потребовалось бы все технологические скважины бурить с керном и использовать весь арсенал методов изучения керна, используемый при разведке гидрогенных месторождений урана.

Оценить степень отработки отдельных участков рудных залежей в ходе процесса СПВ и верифицировать геотехнологическую модель позволяет комплекс методов – гамма-каротаж (ГК) в сочетании с каротажом мгновенных нейтронов деления (КНД-М) – при бурении контрольных скважин, перебурировании аварийных или сооружении дополнительных технологических скважин с целью сгущения сети технологических скважин.

Примеры применения ядерно-геофизического комплекса методов для оценки остаточных запасов в отработанных СПВ эксплуатационных блоках далее приводятся по залежам Х3а и Х6 Хиагдинского месторождения.

3.3.1 Верификация результатов ГТММ бурением контрольных скважин.

Согласно геотехнологическому учету, вскрытая технологическими скважинами залежь Х6 к концу 2019 года была отработана выше проектного уровня: концентрация урана в ПР снизилась до 15 мг/дм³, а степень извлечения урана из руд превысила 80% (рис. 3.5).

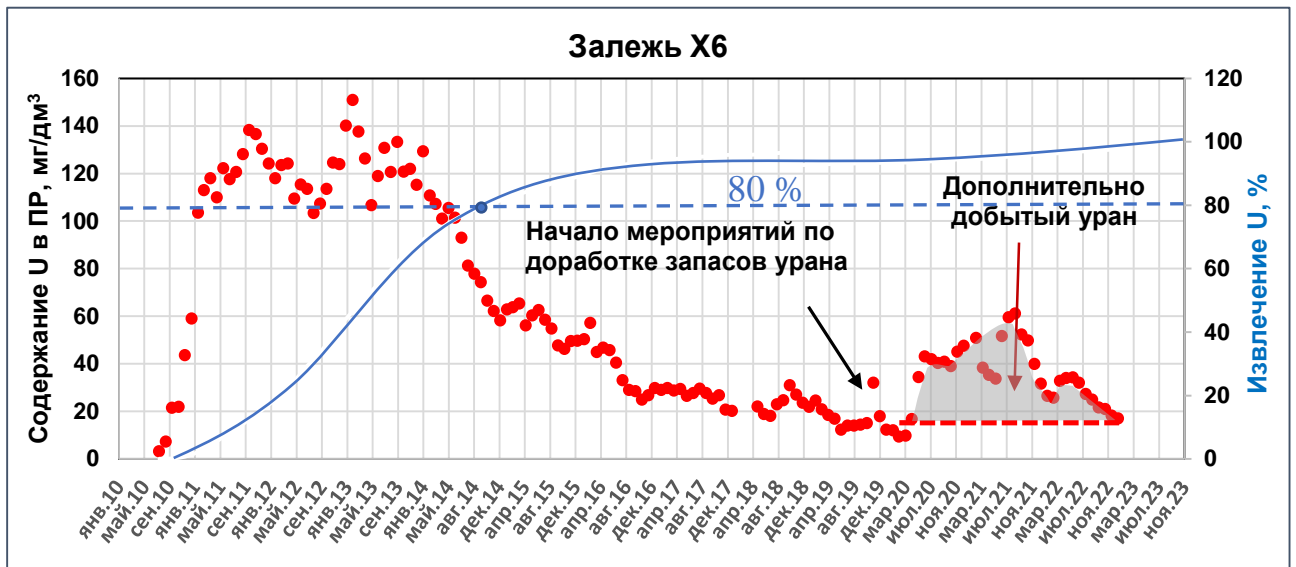


Рисунок 3.5. Содержание урана в продуктивных растворах степень его извлечения из руд при отработке залежи X6 Хиагдинского месторождения

С целью верификации результатов геотехнологического учета методом ГТММ была построена модель распределения остаточной удельной площадной продуктивности по всей площади залежи (рис. 3.6). Этим методом в верховье палеодолины, в наиболее слабо обводненной части залежи, выявлено три целика урановых руд с удельной площадной продуктивностью 5–10 кг U/м².

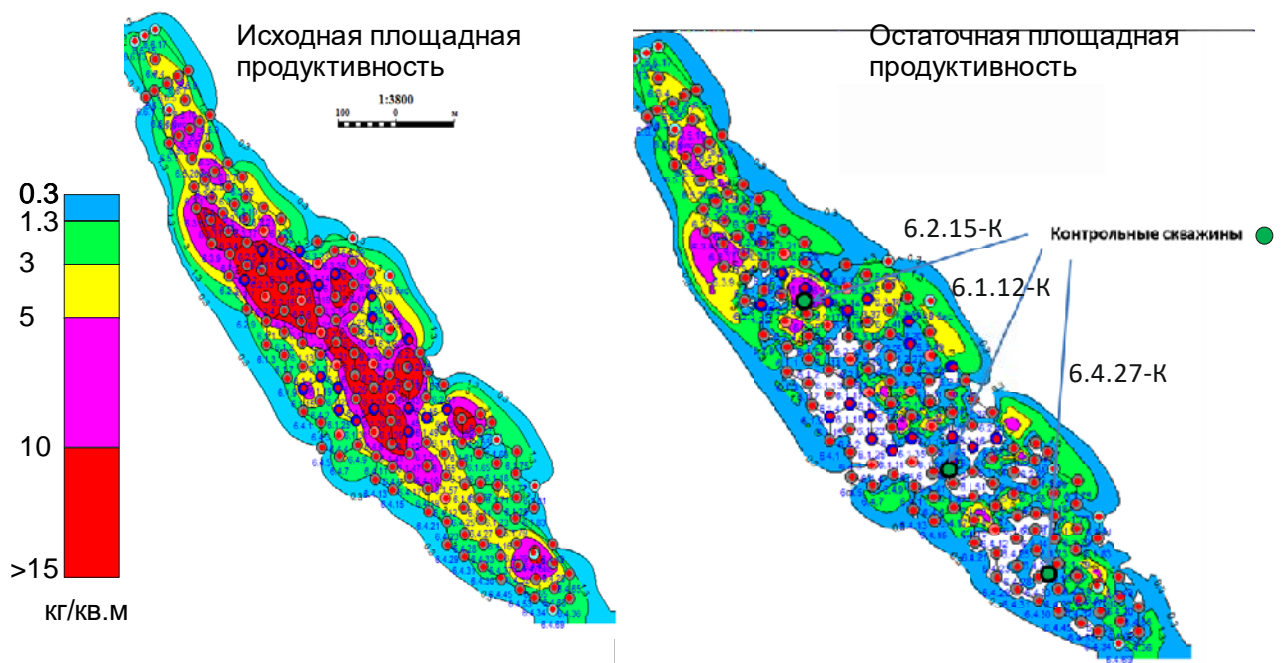


Рисунок 3.6. Исходная и остаточная удельная площадная продуктивность рудоносного пласта на залежи X6 месторождения Хиагдинское

В целом по данным моделирования выявлена неоднородность степени выщелачивания, связанная с геологической неоднородностью, неодинаковыми режимами работы технологических скважин и как следствие неравномерной проработкой выщелачивающими растворами разных участков рудного тела. Как видно на **рис. 3.6** (остаточная продуктивность) белое поле в центральной части залежи указывает на то, что здесь уран извлечен из руд ниже бортового значения удельной площадной продуктивности $\ll 1,35 \text{ кгU/m}^2$. Поэтому в среднем по залежи все параметры достигли проектного уровня

На основе результатов ГТММ, было принято решение о бурении контрольных скважин с целью верификации результатов моделирования на достоверность (верификация модели). В 2019 году на залежи Х6 Хиагдинского месторождения пробурены три контрольные скважины: в верховье (6.2.15-К), средней части (6.1.12-К) и низовье (6.4.24-К) рудоносной палеодолины Х6 (**рис. 3.6**). Скважины пройдены с отбором керна. Содержания урана в секционных пробах определены химическим и рентгеноспектральным методами анализа. В ходе опробования выполнялся рН-промер керна с помощью лакмусовой бумаги. Это позволило установить степень проработанности рудоносного горизонта сернокислыми растворами. В скважинах выполнены гамма-каротаж и каротаж мгновенных нейтронов деления аппаратурой АИНК-49 [23].

Контрольное бурение предусматривало определение не только остаточного содержания урана в рудах, но и степени извлечения урана из руд в районе целика, выявленного методом ГТММ. В последнем случае необходимо знать исходное содержание урана в руде. Эту информацию получили из результатов гамма-каротажа [23], методом реконструкции исходных содержаний урана, описанном в предыдущих разделах диссертации.

По скважине 6.2.15-К (**рис. 3.7**) нижнее рудное тело характеризуется относительно высокой остаточной линейной продуктивностью (27,84 кг/кв.м по КНД-М), что также заверено результатами ГО и подтверждает целесообразность применения моделирования для локализации целиков. Кроме этого, выявлена преобладающая фильтрация сернокислых растворов по рядовым рудам, богатые

руды с содержанием урана до 1,26% подверглись слабому выщелачиванию, а в нижней части рудного тела на глубине 129-130 м наблюдается даже слабое техногенное переотложение урана. Это хорошо видно при сопоставлении результатов ГК и КНД-М каротажей с рН-промером керна [23] (рис. 3.7).

Итоговые результаты оценки суммарной остаточной продуктивности в проницаемых осадках по результатам каротажей ГК и КНД-М и геологического опробования в трех исследованных контрольных скважинах Залежи X-6 месторождения Хиагдинское приведены в таблице 3.1. Верификация результатов КНД-М результатами геологического опробования (ГО) керна показала, что расхождение оценки содержания урана в рудах составляет 3,9 % и является статистически незначимым. Такими методическими приемами доказана достоверность реконструкции исходной продуктивности по ГК.

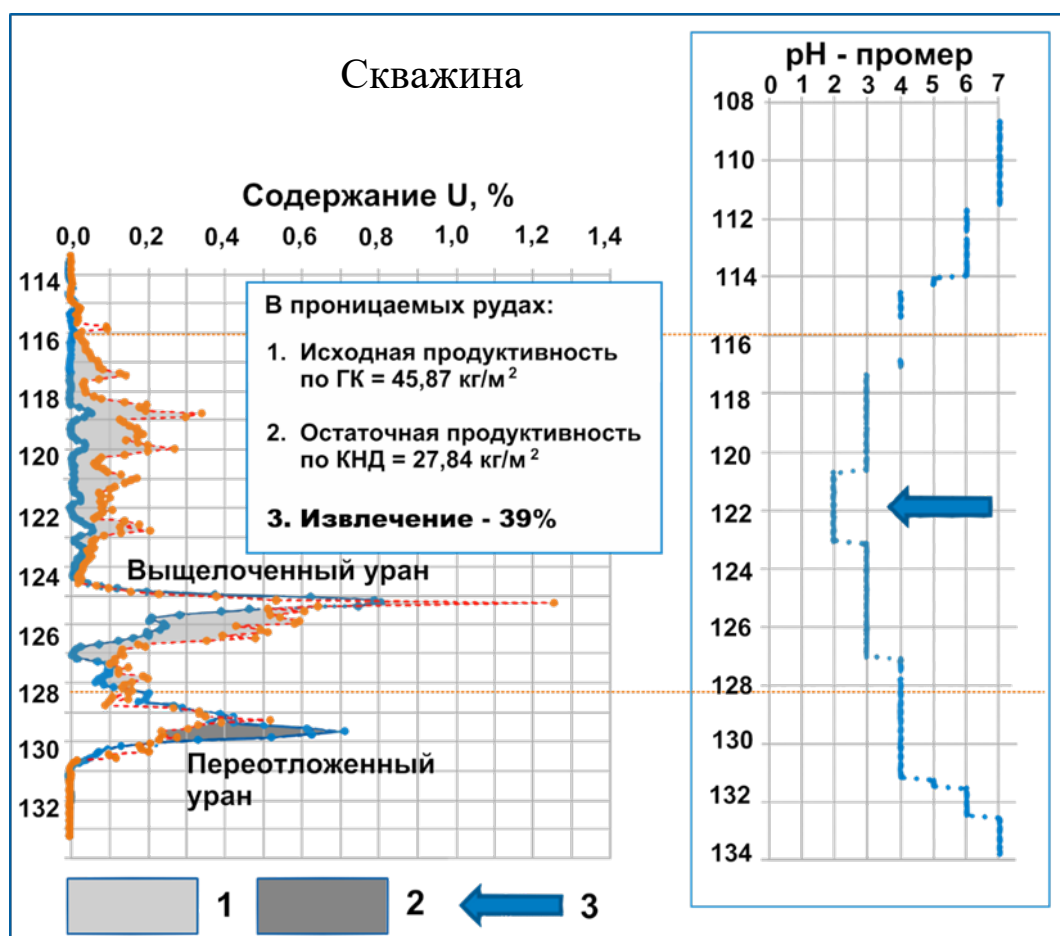


Рисунок 3.7. Результаты геофизических исследований и опробования керна по скважине 6-2-15-К

1 — выщелоченный уран; 2 — переотложенный уран; 3 — область преобладающей фильтрации выщелачивающих растворов и проработки урановых руд сернокислыми растворами

Таблица 3.1. Результаты оценки остаточной продуктивности по данным ГК, ГО и КНД-М в проницаемых осадках трех контрольных скважин Залежи X-6

Показатели	Оценка исходных показателей по результатам ГК	Оценка показателей по результатам ГО	Оценка показателей по результатам КНД-М
Итого по трем контрольным скважинам на залежи X6			
Суммарная мощность (mU), м	23,6	21	19,2
Средневзвешенное содержание урана (CU), %	0,1417	0,0887	0,0932
Суммарный метропроцент (mCU), м*%	3,3431	1,8632	1,7897
Суммарная продуктивность, кг/м ²	61,51	34,28	32,93
Относительная остаточная продуктивность, %	100	55,7	53,5

Полученные результаты позволили разработать комплекс мероприятий по отработке остаточных запасов урана. Запасы были вовлечены в эксплуатацию руды путем переобвязки существующих и бурения дополнительных скважин с установкой фильтров в интервале богатых и переотложенных урановых руд 124–130 м. Эти мероприятия реализованы на залежи X6 [27] и с апреля 2020 по январь 2023 года обеспечили дополнительную добычу 37,7 тонн урана (см. **рис. 3.5**) и получить достигнутый экономический эффект (Приложение Ж).

Следующий пример иллюстрирует применение комплекса методов – ГТММ+ГК+КНД-М — для доработки запасов в верховье залежи X3а месторождения Хиагдинское (**рис. 3.8**).

Так же, как и в предыдущем примере, методом ГТММ на заключительной стадии отработки блока X3а.21 выявлены два неотработанных целика урановых руд (**рис. 3.8б**). Для доработки запасов урана в целиках дополнительно сооружены четыре технологические скважины (**рис. 3.8в**). В открытом стволе этих скважин до спуска обсадной колонны выполнены ГК и КНД-М каротажи

для верификации целиков, выявленных методом ГТММ.

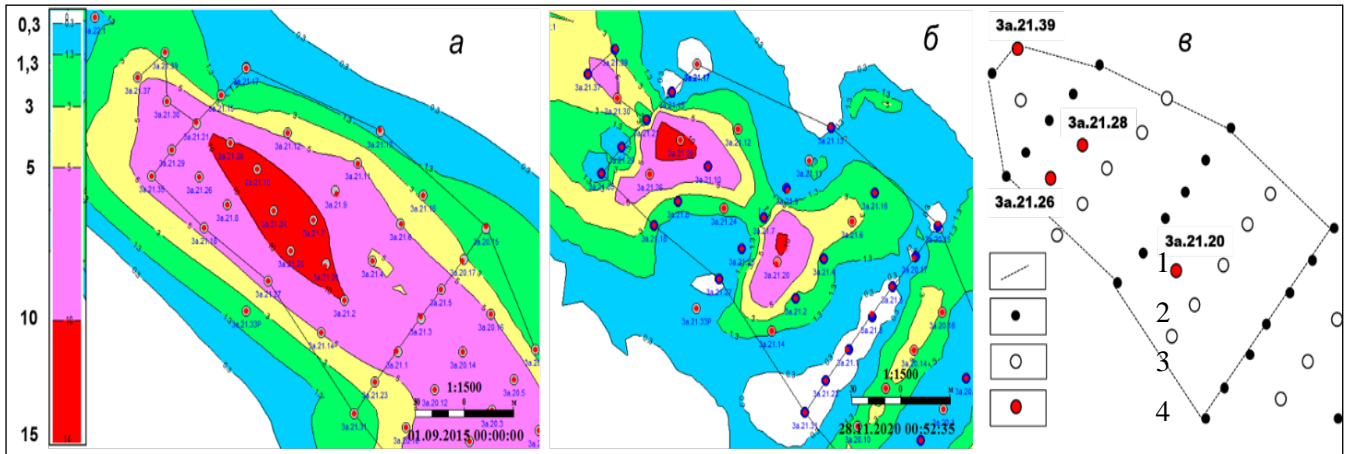


Рисунок 3.8. Исходная (а) и остаточная (б) удельная площадная продуктивность на 68% (28.11.2020) извлечения урана из руд и схема сооружения дополнительных технологических скважин на блоке Х3а.21 (в).

1 – контур блока; 2 – закачная и 3 – откачная скважины;
4 – дополнительная технологическая скважина

Блок Х3а.21 введен в эксплуатацию в декабре 2015 года. Во всех скважинах по величине остаточной суммарной продуктивности по данным КНД-М обнаружены балансовые руды $> 1,35 \text{ кгU/m}^2$ (табл. 3.2 и рис. 3.9). Уран извлечен из руд в зоне целиков всего лишь на 24,2 %.

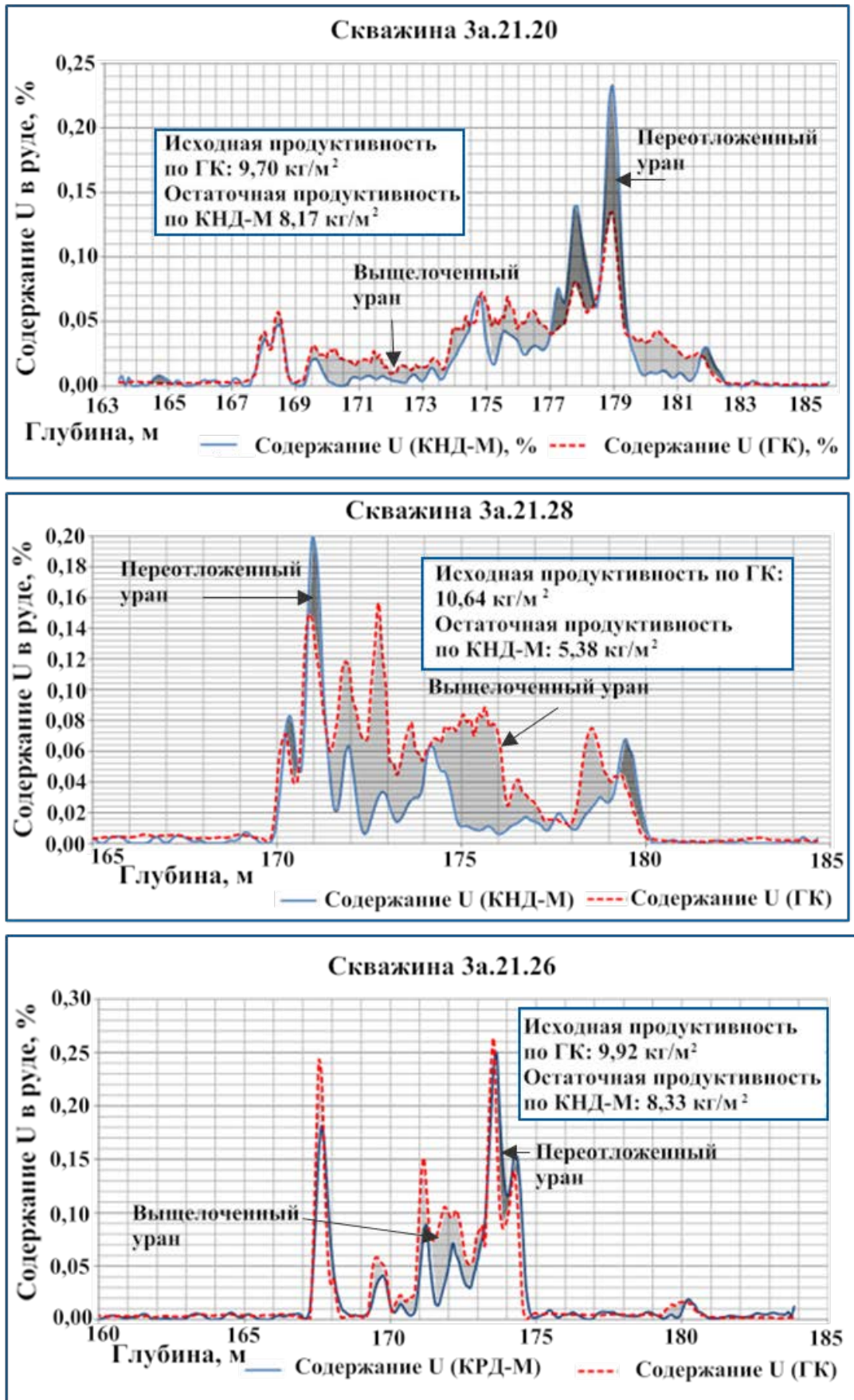


Рисунок 3.9. Диаграммы распределения содержания урана по данным ГК (исходное содержание урана) и КНД-М (остаточное содержание урана)

Таблица 3.2. Результаты оценки остаточной продуктивности урановых руд по данным КНД-М в сравнении с исходными параметрами по данным ГК

Скважина	Исходная продуктивность руды по ГК				Остаточные продуктивность руды по КНД-М				Остаточная продуктивность, %
	Мощность, м	Содержание урана, %	Метропроцент, м-%	Продуктивность, кг/м ²	Мощность, м	Содержание урана, %	Метропроцент, м-%	Продуктивность, кг/м ²	
3а21.20	12,7	0,041	0,527	9,70	8,7	0,051	0,444	8,17	84,2
3а21.26	7,0	0,077	0,539	9,92	6,7	0,068	0,453	8,33	84,0
3а21.28	8,8	0,066	0,578	10,64	7,9	0,037	0,292	5,38	50,5
3а21.39	1,6	0,072	0,115	2,12	2,1	0,046	0,097	1,79	84,4
Сумма	30,1		1,759	32,38	25,4		1,286	23,67	
Среднее взвешенное значение		0,058				0,051			
Средняя остаточная продуктивность относительно исходных параметрах руды по ГК (100%)									75,8

Таким образом, выявленные ГТММ останцы урановых руд подтверждены данными КНД-М во всех дополнительно пробуренных скважинах. Сравнение диаграмм исходного и остаточного содержания урана в рудах (см. **рис. 3.9**) показывает, что в районе скважин 3а.21.26 и 3а.21.39 руды практически не затронуты сернокислотным выщелачиванием. Извлечение урана составило 16,0 и 15,6 % от исходной продуктивности (**табл. 3.2**). В рудном интервале скважины 3а.21.20 одновременно произошли два процесса – извлечение урана в интервалах глубины 169–177 м и 179,5–182 м и переотложение урана в интервале 177-179,5 м. В результате извлечение урана в районе данной скважины равно 15,8 %. И только в скважине 3а.21.28 извлечение урана вышло на уровень 49,5%, но также в ней отмечается незначительное переотложение урана в кровле и подошве рудного тела [23].

Сгущение сети технологических скважин путем бурения дополнительных скважин позволило получить явный положительный технологический и экономический эффекты.

Темп отработки блока увеличился за счет увеличения содержания урана в продуктивных растворах с 28 до 46 мг/дм³ (**рис. 3.10**). Проектный уровень извлечения урана из руд 80% достигнут с момента бурения дополнительных технологических скважин за 14 месяцев [23]. Дополнительно добытый уран в результате доработки запасов составил 17,6 тонн. В результате получен

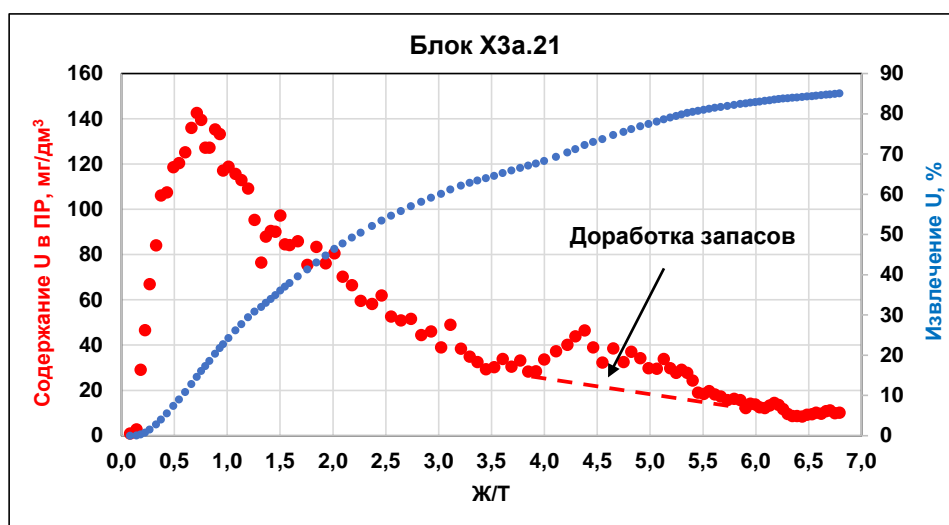


Рисунок 3.10. Показатели отработки блока 3а.21. 17,6 тонн

достигнутый экономический эффект (Приложение Ж).

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3:

1. Полнота освоения недр обеспечивается за счёт локализации и отработки остаточных или техногенно переотложенных запасов урана.

2. Для локализации участков, требующих доработки, эффективен комплексный подход, включающий геотехнологическое математическое моделирование (ГТММ), бескерновое бурение контрольных скважин и комплекс геофизических исследований, в частности каротаж мгновенных нейтронов деления (КНД-М).

3. Локализация рудных целиков на заключительной стадии скважинного подземного выщелачивания (СПВ) с помощью ГТММ позволяет минимизировать объёмы бурения контрольных скважин.

4. Оценить степень отработки участков рудных залежей в процессе СПВ и верифицировать геотехнологическую математическую модель позволяет комплекс методов: гамма-каротаж (ГК) в сочетании с КНД-М [23].

5. Сравнение данных КНД-М с результатами геологического опробования керна показало, что расхождение в оценке содержания урана составляет 3,9 % и статистически незначимо.

6. Доработка запасов урана обеспечивает полноту извлечения полезного компонента, рациональное освоение месторождений и даёт значительный технологический и экономический эффект.

Третье защищаемое положение

Методический приём выявления целиков остаточных концентраций урана и зон его техногенного переотложения на завершающей стадии скважинного подземного выщелачивания, основанный на определении концентраций урана по данным каротажа мгновенных нейтронов деления в сочетании с геотехнологическим математическим моделированием позволяет локализовать целики остаточных концентраций урана в рудах и минимизировать объемы бурения контрольных скважин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа выполнена в соответствии с направлениями исследований 1.6.9. «Геофизика»: п. 18. Использование геолого-геофизических данных для построения цифровых геологических, гидродинамических, геодинамических и иных моделей геологической среды и месторождений; п. 19. Геофизический мониторинг геологического строения и разработки месторождений геофизическими методами; п. 20. Интегрированный анализ многомерной, многопараметровой и разнородной информации, включающей геофизические данные; п. 23. Технические средства и технологии геофизического сопровождения проводки, геолого-технологических и ремонтных работ в скважинах; п. 25. Теория, технические средства, технологии, методы сбора и интерпретации каротажной информации, межскважинного просвечивания, геолого-технологических исследований скважин, геофизических методов исследования технического состояния скважин, вскрытия пластов в скважинах; п. 26. Контроль разработки месторождений полезных ископаемых по данным наземных и скважинных геофизических исследований, включая мониторинг процессов гидроразрыва пластов-коллекторов.» паспорта научной специальности.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований, натурных испытаний изложены новые научно обоснованные методические, технические и технологические решения по повышению эффективности отработки урановых руд гидрогенных палеодолинных месторождений сернокислотным скважинным подземным выщелачиванием с применением инновационной скважинной аппаратуры, имеющие существенное значение для обеспечения атомной промышленности урановым сырьем.

Итоги выполненного исследования

1. Доказано режимными ГК измерениями, что нерудный радон, поступающий из зон трещиноватости и разрывных тектонических нарушений

гранитного фундамента в рудоносный горизонт аллювиальных отложений, существенно нарушает радиоактивное равновесие в Ra-Rn системе.

2. Установлено гидрогеохимическими исследованиями, что в бессульфатных и бескарбонатных с небольшим содержанием хлора подземных водах на месторождениях ХРП радий способен к слабой миграции в подземных водах. Этими же исследованиями доказано, что продолжается современное накопление урана в рудах в неподвижном восстановительном геохимическом барьере.

3. Выявлена высокая изменчивость коэффициента Ra/U радиоактивного равновесия (K_{PP}) по площади и в разрезе урановой рудной залежи В1 месторождения Вершинное: в верховье и центральной части палеодолины наблюдается незакономерное перераспределение урана и радия, а в низовье палеодолины преобладает накопление урана, что согласуется с результатами гидрогеохимических исследований. Высокая изменчивость K_{PP} влияет на достоверность оценки и учета движения промышленных запасов урана.

4. Обосновано, что в условиях высокой изменчивости радиологических свойств урановых руд на месторождениях ХРП применение косвенного метода определения содержания урана в рудах по ГК для оценки промышленных запасов сопряжено с большими погрешностями. В связи с этим в АО «Хиагда» внедрен метод прямого определения урана *in situ* – каротаж мгновенных нейтронов деления ^{235}U (КНД-М). Метод КНД-М может применяться в качестве контрольного для верификации данных гамма-каротажа в период геологоразведочных работ, а также на этапе горно-подготовительных работ — в условиях отсутствия данных по геологическому опробованию керна.

5. Теоретически и экспериментально доказано, что ГК не применим для определения остаточных содержаний урана в рудах в сульфатной среде, т.к. соли сульфата радия образуют труднорастворимые соединения. Этот недостаток ГК становится полезной информацией, позволяющей реконструировать исходные содержания урана с использованием $K_{PP} = 1$ и поправки на отжатие радона $P_{Rn} = 1,1$. Сравнение исходного содержания урана в рудах по ГК с прямыми

измерениями методом КНД-М позволяет оценивать степень извлечения урана из руд на всех стадиях СПВ.

6. Натурными исследованиями подтверждено, что применение нерегулярных сетей расположения технологических скважин значительно повышает эффективность СПВ, а применение КНД-М позволяет уточнять остаточные и техногенно переотложенные содержания урана в рудах. Эта технология дает возможность практически одновременно обрабатывать СПВ бедные и богатые урановые руды.

7. Натурными исследованиями доказано, что применение на завершающей стадии обработки рудных залежей СПВ комплекса методов — ГТММ, ГК и КНД-М — предоставляет возможность локализовать поиски и выявлять целики не отработанных урановых руд, верифицировать геотехнологические модели и эффективно извлекать уран из целиков, а, в целом, повышать полноту освоения недр.

8. Разработка и внедрение в АО «Хиагда» технологии сгущения сети технологических скважин на основной и заключительной стадии СПВ позволили получить достигнутый экономический эффект в размере 2176,5 млн руб. С внедрением КНД-М получен экономический эффект 300,9 млн руб. за счет исключения бурения скважин с керновом, геологического опробования и химико-аналитических работ (**Приложение Ж**).

Рекомендации

1. Для повышения достоверности подсчёта запасов урана на стадиях эксплуатационной разведки и вскрытия рудных залежей технологическими скважинами рекомендуется для верификации оценки запасов методом традиционного гамма-каротажа применять прямое определение содержания урана в рудах методом КНД-М в объеме не менее 20% от количества технологических скважин.

2 При контрастном распределении урана по площади рудных залежей целесообразно применять нерегулярные сети расположения технологических скважин.

3. С целью повышения эффективности ведения добычных работ на основной и завершающей стадиях СПВ рекомендуется оценивать степень извлечения урана в перебуриваемых, добуриваемых и контрольных скважинах с использованием комплекса – ГК, КНД-М и ГТММ.

4. Для повышения полноты освоения палеодолинных месторождений урана и рационального недропользования на завершающей стадии СПВ необходимо применять комплекс «ГТММ, ГК и КНД М» для локализации целиков остаточных концентраций урана в рудах.

5. В технологическую документацию и регламенты предприятия следует включить обязательное применение комплекса «ГК + КНД М + ГТММ».

Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные результаты создают предпосылки для дальнейшего развития комплекса геолого-геофизических технологий и ГТММ при отработке гидрогенных палеодолинных месторождений урана Витимского типа. Перспективы дальнейшего развития работы определяются совершенствованием программно-методического комплекса АМК КНД-М на основе накопленного опыта эксплуатации аппаратуры АИНК 49. К приоритетным направлениям относятся расширение палеточной базы для руд с повышенным содержанием условного бора и водородосодержания, использование информации о временных спектрах тепловых нейтронов в системе интерпретационных параметров, а также развитие программного обеспечения, направленное на упрощение и автоматизацию процедур обработки и контроля качества информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдонин Г.И., Салтыков А.С., Солодов И.Н.* Отчет: «Оценка защитных геохимических свойств геологической среды по отношению к остаточным серноокислым растворам на урановом месторождении Источное» // М.: Фонды ФГУП «ВИМС», 2015ф.
2. Аналитическая химия радия /*Вдовенко В.М., Дубасов Ю.В.*// Л. : Наука, 1973. – 190 с.
3. *Базаров Д.Н., Гладышев А.В., Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* «Контроль состояния скважин» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615957. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.05.2017.
4. *Бреслер С.Е.* Радиоактивные элементы // М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1949. – 308 с.
5. *Булдыгеров В.В.* Геологическое строение Восточной Сибири // Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2007. – 150 с.
6. *Валитов С.Н., Гладышев А.В., Гончарова Н.А., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Крюкова Е.А., Макшанинов В.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* Программное обеспечение для повышения экономической эффективности отработки эксплуатационных блоков АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019610254. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.05.2019.
7. *Васильев С.В., Веригин Н.Н., Саркисян В.С., Шержуков Б.С.* Гидродинамические и физико-химические свойства пород // М.: Недра, 1977, - 271 с.
8. *Винокуров С.Ф., Магазина Л.О., Стрелкова Е.А.* Редкоземельные и редкие элементы в урановых рудах палеодолинных месторождений Витимского района: характер распределения, форма нахождения, генетическое и практическое значение // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 2. – С. 141–162.

9. *Винокуров С.Ф.*, Типизация гидрогенных месторождений урана // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64, № 1. – С. 113–134.
10. *Ганичев Г.И., Мац Н.А., Хайкович И.М.* Методы радиоактивного каротажа на месторождениях урана: состояние и перспективы. // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 3. – С. 25–30.
11. Геотехнология урана (российский опыт): монография / Под. ред. *И.Н.Солодова, Е.Н.Камнева.* – М.: КДУ, Университетская книга, 2017. – 576 с.
12. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А., Халецкая О.В.* «Контроль бурения» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615296. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.05.2017.
13. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Крюкова Е.А., Макшанинов В.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* «Оценка и анализ данных о работе УДПР» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615850. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.05.2017.
14. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Крюкова Е.А., Макшанинов В.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* Система оптимизации отработки рудных залежей АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019661995. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.09.2019.
15. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Крюкова Е.А., Макшанинов В.В., Михайлов А.Н., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* Система оперативного контроля и анализа работы добычного полигона АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019661994. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.09.2019.
16. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Сакирко Г.К., Макшанинов В.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* Система планирования горных работ АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019662420. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24.09.2019.
17. *Гладышев А.В., Истомин А.Д., Макшанинов В.В., Сакирко Г.К., Чеглоков А.А.* Система прогнозирования геотехнологических показателей

эксплуатационных блоков АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019615369. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.04.2019.

18. *Гладышев А.В., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Носков М.Д., Халецкая О.В., Чеглоков А.А.* Система проектирования и оптимизации вскрытия рудных залежей АО «Хиагда» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №20196105200. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.04.2019.

19. *Гладышев А.В., Михайлов А.Н. Истомин А.Д., Носков М.Д.* и др. «Умный полигон СПВ» - технология оптимального управления в реальном времени // Сборник трудов IX-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» / , 7–9 ноября 2019 г., г. Алматы, Республика Казахстан. – Алматы, 2019. – Ч. 2. – С. 294–300.

20. *Гладышев А.В., Гуцул М.В., Сакирко Г.К., Носков М.Д., Чеглоков А.А.* Программное обеспечение для представления информации о месторождении урана палеодолинного типа в виртуальном пространстве // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2021618447. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.03.2021.

21. *Гладышев А.В., Михайлов А.Н., Солодов И.Н., Суворов А.В.* Влияние генетических особенностей урановых месторождений Хиагдинского рудного поля на выбор технологий отработки рудных залежей скважинным подземным выщелачиванием // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 13–17.

22. *Гладышев А.В.* Аппаратура и метод прямого определения урана в рудах месторождений Хиагдинского рудного поля, обрабатываемых скважинным подземным выщелачиванием // Горный журнал. – 2023. – № 2. – С. 39–43.

23. *Гладышев А.В., Солодов И.Н.* Оценка остаточных запасов урана в обрабатываемых скважинным подземным выщелачиванием урановых рудных залежах ядерно-геофизическими методами каротажа // Горный журнал. – 2023. – № 4. – С. 4–8.

24. *Гладышев А.В., Солодов И.Н.* Изменчивость коэффициента радиоактивного равновесия в урановых рудах месторождения Вершинное Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Разведка и охрана недр. – 2024. – № 1. – С. 44–53.

25. *Гладышев А.В., Кеслер А.Г., Носков М.Д. и др.* Применение математического моделирования для интенсификации извлечения урана из останцов на стадии доработки блоков способом ПСВ. // Доклады XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометальной промышленности», 16–18 мая 2024 г., г. Алматы. – Алматы, 2024.

26. *Гладышев А.В., Носков М.Д., Солодов И.Н., Суворов А.В.* Извлечение урана из целиков на стадии доработки технологических блоков способом скважинного подземного выщелачивания // Цветные металлы. – 2024. – № 11. – С. 55–61.

27. *Гладышев А.В.* Применение геолого-геофизических технологий для рационального освоения урановых месторождений Хиагдинского рудного поля (Витимский район) скважинным подземным выщелачиванием // А.В. Гладышев // Разведка и охрана недр. – 2025. – № 5. – С. 84–95.

28. *Голубев В.С. Кричевец Г.Н.* Динамика геотехнологических процессов // М.: Недра, 1989. – 120 с.

29. *Голубев В.Н., Чернышев И.В., Чугаев А.В. и др.* U-Pb системы и изотопный состав урана в урановом месторождении «песчаникового» (палеодолинного) типа: месторождение Дыбын, Витимский урановорудный район, Россия // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 6. – С. 467–480.

30. *Голубев В.Н., Тарасов Н.Н., Чернышев И.В. и др.* Пострудные процессы миграции урана в месторождениях «песчаникового типа»: 234U/238U, 238U/235U и U-Pb-изотопная систематика руд месторождения Намару, Витимский район, Северное Забайкалье // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 4. – С. 297–310.

31. *Дзядок С.А., Прохоров Д.А.* Перспективы выявления месторождений урана песчаникового типа в Забайкалье // Труды Пятого Международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». М.: ФГБУ «ВИМС», 2021. – С. 53–61.
32. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / под ред. И. Н. Солодова – М. – Чита : ZetaPrint, 2022. – 183 с.
33. *Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М.* Урановая минерализация палеодолинных месторождений Витима // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 12. – С. 24–30.
34. *Домаренко В. А., Краморенко С. В., Чернев Е. М.* Поведение урана и радия при формировании руд месторождения Дыбрын (Витимский урановорудный район, республика Бурятия) // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: матер. Всероссийской науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 210–216.
35. *Замана Л.В., Оргильянов А.И., Крюкова И.Г.* Новые проявления углекислых вод в Юго-Восточном Забайкалье // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4. – С. 78–83.
36. *Ильичев А.В., Данковцев Р.Ф., Лукьянова В.Т., Маринов Б.Н.* К вопросу о генезисе уранового оруденения в неогеновых палеорусловых структурах под покровом базальтов Витимского плато (Забайкалье) // Материалы по геол. мест. урана. Инф. сб. КНТС. М.: ВИМС, 1990. – Вып. 125. – С. 46–57.
37. *Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Кузин Р.Е.* Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд // М.: Горная книга, 2014. – 183 с.
38. *Каримов Х.К., Бобоноров Н.С., Толстов Е.А. и др.* Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан // Ташкент: ФАН, 1996. – 340 с.
39. *Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н.* Гидрогенное рудообразование // М.: ЗАО Информмарк, 2000. – 608 с.

40. *Клигер К. Г., Мартыненко В. Г., Миносьянц А. Р. и др.*; Пат. 152266 РФ. Узел скважинного генератора нейтронов для каротажа урановых руд / заявл. 25.12.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13.

41. *Коченов А.В., Данковцев Р.Ф., Шмариович Е.М.* Отчет по договору № 626 «Изучить минералого-геохимические, литологические и геотехнологические особенности кайнозойских месторождений Витимского района с целью использования полученных данных для совершенствования поисковых критериев и подготовки объектов к промышленному освоению способом ПВ» // / М.: Фонды ВИМС, 1989. – 233 с.

42. *Коченов А.В., Халдей А.Е.* К вопросу об источниках урана в экзогенных эпигенетических месторождениях // Литология и полезные ископаемые. – 1997. – № 4. – С. 371–378.

43. *Кочкин Б.Т., Тарасов Н.Н., Андреева О.В. и др.* Полигенность и полихронность урановой минерализации на месторождениях Хиагдинского рудного поля (Бурятия) // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 2. – С. 124–140.

44. *Лучинин И.И., Пешков П.А., Дементьев П.К. и др.* Месторождения урана в палеодолинах Зауралья и Забайкалья // Разведка и охрана недр. – 1992. – № 5. – С. 12–15.

45. *Маринов Б.Н., Ильичев А.В.* О возможной роли углекислых ураноносных вод в кайнозойском рудообразовании на Витимском плато (Забайкалье) // Материалы по геологии месторождений урана: информационный сборник КНТС. – М.: ВИМС, 1988. – Вып. 113. – С. 90–98.

46. *Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мизута А.К. и др.* Уран российских недр. М.: ВИМС, 2010. – 850 с.

47. *Машковцев Г.А.* Перспективы развития минерально-сырьевой базы урана России и современные поисковые технологии // Сборник трудов IX-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» / 7–9 ноября 2019 г., г. Алматы, Республика Казахстан. – Алматы, 2019. – Ч. 1. – С. 19–22.

48. *Миносьянц А.Р., Солодов И.Н., Гурулев Е.А.* Применение каротажа мгновенных нейтронов на разных стадиях освоения урановых месторождений методом СПВ // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 7. – С. 22–30.

49. *Миносьянц А.Р., Новгородцев А.А.* Информационный отчет «Выполнение работ по внедрению каротажа мгновенных нейтронов деления в АО «Хиагда» // Фонды АО «Русбурмаш», 2017. – (Фонды АО «Русбурмаш»).

50. *Миносьянц А.Р., Новгородцев А.А.* Информационный отчет «Выполнение каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М) // Фонды АО «Русбурмаш», 2018. – (Фонды АО «Русбурмаш»).

51. *Миносьянц А.Р., Кузьмин Л.А.* Информационный отчет «Выполнение работ методом каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М) на месторождениях Хиагдинского рудного поля» // Фонды АО «Русбурмаш», 2023. – (Фонды АО «Русбурмаш»).

52. *Носков М.Д., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Челюков А.А.* Программные средства управления добычей урана методом скважинного подземного выщелачивания // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2013. – № 1. – С. 95–100.

53. *Носков М.Д., Попова К.Е., Гладышев А.В. и др.* Применение численного моделирования для оценки эффективности использования дополнительных скважин при добыче урана методом подземного выщелачивания // Известия вузов. Физика. – 2021. – Т. 64, № 2-2. – С. 79–82.

54. *Носков М.Д., Гладышев А.В., Гуцул М.В. и др.* Применение адаптивных схем расположения технологических скважин при СПВ урана // М.: ВИМС. Пятый международный симпозиум «Уран: геология, ресурсы, производство», 2021. – М.: ВИМС, 2021.

55. *Пешков П.А., Грязнов В.П., Макшанинов В.В. и др.* «Отчет о результатах предварительной разведки месторождений Хиагдинского рудного поля в Центральном Забайкалье с подсчетом запасов урана по состоянию на 1. 05. 1992 г.» // Иркутск, 1993. – 246 с.

56. *Польский Г.М.* Отчет о результатах разведочных работ на Хиагдинском урановом месторождении с подсчетом запасов по состоянию на 01.10. 2013 г // М.: Фонды АО «Русбурмаш», 2013. – В 6-ти книгах и 3-х папках графических материалов. – (Фонды АО «Русбурмаш»).

57. *Разуваева Т.В., Светлакова К.Р.* Изучение геолого-гидрогеологических условий ураноносных толщ с применением 3D моделирования // Горный журнал Казахстана. – 2021. – № 8. – С. 48–52.

58. *Рассказов С.В., Лямина Н.А., Черняева Г.П. и др.* Стратиграфия кайнозоя Витимского плоскогорья: Феномен длительного рифтогенеза на юге Восточной Сибири. Ин-т земной коры СО РАН. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – 193 с.

59. *Рихванов Л.П., Домаренко В.А., Митрофанов Е.А.* Комплексный состав руд урановых месторождений и некоторые тенденции поведения микроэлементов на месторождениях Хиагдинского рудного поля (Россия) // Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». 7–9 ноября 2019 г., г. Алматы. – Алматы, 2019. – Т. 2. – С. 3–10.

60. *Самович Д.А., Дзядок С.А., Тирских С.С., Федин А.Ю.* Минерально-сырьевая база Витимского урановорудного района и перспективы ее расширения // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 9. – С. 17–19.

61. *Семинский К.Ж., Семинский А.К.* Радон в подземных водах Прибайкалья и Забайкалья: пространственно-временные вариации // Геодинамика и тектонофизика. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 477–493.

62. *Солодов И.Н., Шугина Г.А., Зеленова О.И.* Техногенные геохимические барьеры в рудоносных горизонтах водородных месторождений урана // Геохимия. – 1994. – № 3. – С. 415–430.

63. *Солодов И.Н., Гладышев А.В., Иванов А.Г.* Опыт добычи урана методом СПВ в криолитозоне // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 11. – 6 с.

64. *Солодов И.Н., Гладышев А.В., Михайлов А.Н., Суворов А.В.* Влияние генетических особенностей урановых месторождений Хиагдинского рудного

поля на выбор технологий отработки рудных залежей скважинным подземным выщелачиванием // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 13–18.

65. *Солодов И.Н., Гладышев А.В., Нестерова М.В.* Новые критерии выявления урановых месторождений витимского типа в Забайкалье // Минералообразующие системы месторождений высокотехнологичных металлов: достижения и перспективы исследований. Всероссийская конференция, проводимая в рамках мероприятий, посвящённых 300-летию РАН, Москва, 29 ноября – 1 декабря 2023 г. – М., 2023. – ISBN 978-5-88918-073-9.

66. *Солодов И.Н., Полонянкина С.В., Носков М.Д., Иванов А.Г.* Устранение потерь и разубоживания урана при скважинном подземном выщелачивании // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 7. – С. 52–57.

67. *Солодов И.Н., Морозов А.А.* Физико-химические геотехнологии – главный вектор развития уранодобывающей отрасли // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 42–47.

68. *Солодов И.Н., Гладышев А.В., Гурулев Е.А., Суворов А.В.* Влияние углекислых подземных вод на скважинное подземное выщелачивание урана из руд месторождений Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Горный журнал. – 2022. – № 4.

69. *Солодов И.Н., Нестерова М.В.* Углекислые подземные воды – рудосохраняющий фактор на урановых месторождениях Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64, № 1. – С. 151–162.

70. *Солодов И.Н., Карамушка В.П.* Об эпигенетических восстановителях урана на месторождениях Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Разведка и охрана недр. – 2023. – № 2. – С. 21–29.

71. *Солодов И.Н., Нестерова М.В.* Распространенность углекислых подземных вод и углеводородов на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, № 6. – С. 495–508.

72. *Солодов И.Н., Нестерова М.В.* Концепция рудообразования и новые критерии выявления урановых месторождений витимского типа // Доклады II-й Научно-практической конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». 19–21 ноября 2024 г. – М. : ВИМС, 2024.

73. *Справочник по геотехнологии урана /В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др. Под ред. Д.И. Скороварова // М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.*

74. *Тарханова Г.А., Дубинчук В.Т., Чистякова Н.И. и др.* Особенности минерального состава и условия формирования руд Вершинного месторождения // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 6. – С. 7–13.

75. *Тихонов М.Н.* Радон: источники, дозы и нерешенные вопросы // Экология промышленного производства. – 2008. – № 1. – С. 35–51.

76. *Хайкович И. М., Ганичев Г. И.* Инструкция по гамма-каротажу на месторождениях урана. МИ-№115/210 – (01.00250 – 2008) – 2011/ М.: ОАО «Атомредметзолото» – СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2012.

77. *Хайкович И. М., Ганичев Г. И.* Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана с аппаратурно-методическим комплексом АМК КНД-М (в модификации АИНК-49). – СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2014. – 61 с.

78. *Хайкович И. М., Мац Н. А., Ганичев Г. И.* Методы ядерно-геофизического каротажа на месторождениях урана. – СПб : ФГУНПП «Геологоразведка», 2017. – 314 с.

79. *Ярмолюк В.В., Кузьмин М.И., Козловский А.М.* Позднепалеозойский–раннемезозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: траппы, рифты, батолиты-гиганты и геодинамика их формирования // Петрология. – 2013. – Т. 21, № 2. – С. 115–142.

80. *Golubev V.N., Chernyshev I.V., Kochkin B.T., Tarasov N.N., et al.* Uranium Isotope Variations ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$) and Behavior of U-Pb Isotope System in the Vershinnoe Sandstone-Type Uranium Deposit, Vitim Uranium Ore District, Russia // Journal of Earth Science. – 2022. – Vol. 33, No. 2. – P. 317–324.

81. *Harbaugh A.W.* MODFLOW-2005, the US Geological Survey modular ground-water model: the groundwater flow process. // Reston, VA: US Department of the Interior, US Geological Survey, 2005. – 6-A16.

82. *Lagneau V., Regnault O., Descostes M.* Industrial Deployment of Reactive Transport Simulation: An Application to Uranium In situ Recovery // *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*– 2019. – Vol. 85. – P. 499–528. – DOI: 10.1515/9781501512001-017.

83. *Nikitin B., Tolmacheff P.Z.* // *Z. Phys. Chem.* – 1934. – A167. – 260 S.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ГКЗ — Государственная комиссия по запасам Российской Федерации
- УРР — урановый рудный район
- ХРП — Хиагдинское рудное поле
- СПВ — скважинное подземное выщелачивание
- ГРМ — горнорудная масса
- ВР — выщелачивающий раствор
- ПР — продуктивный раствор
- ГП — готовый продукт
- КНД-М — каротаж мгновенных нейтронов деления
- АИНК-49 — аппаратно-измерительный нейтронный комплекс (внешний диаметр 49 мм)
- АМК КНД-М — аппаратно-методический комплекс каротажа нейтронов мгновенного деления
- K_{pp} — коэффициент радиоактивного равновесия
- P_{Rn} — поправка на отжатие радона буровым раствором
- P_k — комплексная поправка
- ГТММ — геотехнологическое математическое моделирование
- ВУРР — Витимский ураново-рудный района
- АЭС — атомная электростанция
- РФ — Российская Федерация
- РУ — рудный узел

Свидетельства: об утверждении типа средства измерений, об аттестации методики измерений, о поверке АМК КНД-М



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

RU.C.38.001.A № 53794

Срок действия до **17 января 2019 г.**

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Аппаратурно-методические комплексы каротажа мгновенных нейтронов деления (АМК КНД-М)

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова" (ФГУП "ВНИИА"), г. Москва

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **56202-14**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
ТАИНК183 МП

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **2 года**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **17 января 2014 г. № 27**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя
Федерального агентства


Ф.В.Бульгин

"23" 01 2014 г.

Серия СИ

№ **013564**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

FEDERAL STATE
UNITARY ENTERPRISE
“D.I.MENDELEYEV INSTITUTE
FOR METROLOGY”
(VNIIM)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
“ВНИИМ
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА”

000840

19, Moskovsky pr.,
St. Petersburg,
190005, Russia

Fax: 7 (812) 713-01-14
Phone: 7 (812) 251-76-01
e-mail: info@vniim.ru
http:// www.vniim.ru

190005, Россия,
г. Санкт-Петербург
Московский пр., 19

Факс: 7 (812) 713-01-14
Телефон: 7 (812) 251-76-01
e-mail: info@vniim.ru,
http://www.vniim.ru

**СВИДЕТЕЛЬСТВО
CERTIFICATE**

**об аттестации методики измерений
№ 634/210-(01.00250)-2015**

Страница 1, всего страниц 2

Методика измерений мощности рудного интервала, метропроцента и коэффициента влажности руды при выполнении каротажных работ методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана пластово-инфильтрационного (песчаникового) типа с применением двухзондовой аппаратуры типа АМК КНД-М в модификации АИНК-49,

разработанная ФГУНПП «Геологоразведка», ул. Книпович, д. 11, корп. 2, Санкт-Петербург, 192019

и регламентированная в документе: «Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана с аппаратурно-методическим комплексом АМК КНД-М (в модификации АИНК-49)», 2014, 28 л.

аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009, ГОСТ 8.010-2013.

Аттестация осуществлена по результатам теоретических и экспериментальных исследований методики измерений.



Заместитель директора
Е.П. Кривцов

Дата выдачи 21 апреля 2015 г.

Свидетельство об аттестации методики измерений
№ 634/210-(01.00250)-2015

страница 2, всего страниц 2

Метод измерений

Параметры рудных интервалов с массовой долей урана более 0,005 % (мощность, метропроцент, коэффициент влажности) измеряют косвенным методом на основании результатов прямых измерений глубины погружения детекторов надтепловых и тепловых нейтронов и соответствующих этим глубинам скоростей счета, обусловленных плотностью потока надтепловых (мгновенных нейтронов деления ^{235}U) и тепловых нейтронов.

Принцип измерений основан на эффекте возникновения мгновенных нейтронов деления при облучении ^{235}U тепловыми нейтронами. Для реализации принципа измерений применяют аппаратный комплекс, который помещают внутрь скважины и перемещают по высоте с определенной скоростью. В состав аппаратного комплекса входят: источник нейтронного излучения – импульсный генератор нейтронов, блок монитора излучения генератора нейтронов, детекторы тепловых и надтепловых нейтронов. При перемещении комплекса в скважине проводят непрерывные измерения глубины погружения и потока мгновенных нейтронов деления, который пропорционален массовой доле ^{235}U в руде.

Чувствительность детектора надтепловых нейтронов к потоку мгновенных нейтронов деления ^{235}U в зависимости от массовой доли ^{235}U в руде определяют с использованием стандартных образцов состава и свойств уранового рудного тела (ГСО СОСВУРТ-У) и фонового стандартного образца (ГСО СОСВУРТ-Ф).

Параметры рудных интервалов вычисляют на основе зафиксированных результатов измерений и чувствительности детектора надтепловых нейтронов согласно установленному в методике измерений алгоритму.

В результате аттестации методики измерений (МИ) установлено, что МИ соответствует предъявляемым к ней метрологическим требованиям и обеспечивает следующие метрологические характеристики:

- диапазон измерений мощности рудного интервала от 0,3 до 10 м;
- абсолютное среднее квадратическое отклонение результата измерений мощности рудного интервала 0,2 м;
- диапазон измерений метропроцента от $3 \cdot 10^{-3}$ до 5 м%;
- относительное среднее квадратическое отклонение результата измерений метропроцента 25 %;
- диапазон измерений коэффициента влажности от 10 до 25 %;
- абсолютное среднее квадратическое отклонение результата измерений коэффициента влажности 3 %;

Результаты оценивания метрологических характеристик приведены в приложении к свидетельству об аттестации методики измерений № 634/210-(01.00250)-2015 на 2 л.

Руководитель отдела



С.Г. Трофимчук

Старший научный сотрудник

Ю.О. Козында

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

“ВНИИМ им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА”

190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19

Факс: +7 (812) 713-01-14, телефон: +7 (812) 251-76-01, e-mail: info@vniim.ru, http://www.vniim.ru

Регистрационный номер аттестата аккредитации RA.RU.311541



СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

№ 210/0463-2017

Действительно до 24 мая 2019 г.

012754

Средство измерений

аппаратурно-методический комплекс каротажа мгновенных
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном
информационном фонде по обеспечению единства измерений

нейтронов деления АМК КНД-М с блоком градуировки ТБР911-02 зав. № 047491; № в ФИФ 56202-14

(если в состав средства измерений входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)

отсутствует

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер (номера) 5592639

поверено в соответствии с описанием типа

наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений
(если предусмотрено методикой поверки)

поверено в соответствии с

ТАИНК183 МП «Аппаратурно-методический комплекс каротажа

наименование документа, на основании которого выполнена поверка

мгновенных нейтронов деления (АМККНД-М). Методика поверки»

с применением эталонов:

перечень используемых эталонов указан на обороте

наименование, тип, заводской номер, регистрационный номер (при наличии),

разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:

температура воздуха 23,2 °С;

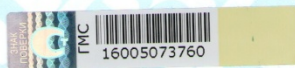
приводят перечень влияющих факторов,

атмосферное давление 101,1 кПа; относительная влажность 46 %; фон гамма-излучения 0,15 мкЗв/ч

нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки



Руководитель лаборатории 2104

Должность руководителя подразделения

Подпись

Н.Н. Моисеев

Инициалы, фамилия

Поверитель



Подпись

А.В. Дидык

Инициалы, фамилия

Дата поверки 25 мая 2017 г.

Результаты калибровки мониторов АМК КНД-М

Результаты калибровки мониторов Расчет средних значений и СКО коэффициента мониторингования

Дата	№скв.	№ СП	К м1	К м2	К м3	К м4	КМ ср	СКО Км
017 12.08.2	-	3	41 49	41 90	41 97	40 39	414 4	0,9%
017 18.08.2	Скв. 1-10-51	3	39 61	39 04	40 30	41 41	400 9	1,3%
017 18.08.2	Скв. 1-10-51	3	42 11	45 31	39 99	42 78	425 5	2,6%
017 19.08.2	Скв. 1-11-43 откp.	3	39 34	40 10	42 88	42 57	412 2	2,1%
017 23.08.2	Скв. 1-11-43 обс.	3		39 16	41 79	40 60	405 2	1,5%
017 27.08.2	Скв. 5-13-10 обс.	3	39 26	37 03	38 76	38 97	385 1	1,3%
017 30.08.2	Скв. 5-9-42 обс	3		38 04	36 83	37 29	373 9	0,8%
017 03.09.2	Скв. 1-11-23; 6-3-4 обс.	3	42 41	39 78	39 12	42 97	410 7	2,3%
017 07.09.2	Скв. 5-9-26 бис обс.	3		41 57	36 96	38 46	390 0	2,8%
017 11.09.2	Скв. 1-11-47 откp.	3	40 50	37 80	37 07	40 94	390 8	2,5%
017 10.09.2	Скв. 3-13-20 откp.	3	40 53	39 46	36 17	37 91	385 2	2,5%
017 12.09.2	Скв. 3-13-22 откp.	3	38 67	34 77	38 11	37 10	371 6	2,3%
017 14.09.2	Скв. 1-11-47 обс.	3	38 77	37 56	41 49	39 61	393 6	2,1%

017	17.09.2	Скв. 3-13-26 откр.	3	40 40	38 11	40 11	39 44	395 2	1,3%
017	18.09.2	Скв. 1-11-51 откр.	3	38 98	38 66	37 56	39 53	386 8	1,1%
017	20.09.2	Скв. 3-13-24 откр.	3		37 39	41 50	37 14	386 8	3,0%
017	22.09.2	Скв. 1-11-51 обс.	3	37 34	35 38	40 67	38 21	379 0	2,9%
017	21.09.2	Скв. 1-11-39 откр.	3	38 30	42 97	41 00	40 59	407 2	2,4%
017	27.09.2	Скв. 1-12-13 откр.	3		44 59	40 52	41 88	423 3	2,3%
017	03.10.2	Скв. 1-11-51 обс.контр.	3	39 67	39 31	40 47	39 61	397 7	0,6%
017	03.10.2	Скв. 1-11-51 обс.контр.	3	37 41	37 66	38 02	37 42	376 3	0,4%
017	04.10.2	Скв. 1-11-47 обс.контр.	3	42 18	37 53	42 73	41 16	409 0	2,9%

Продолжение приложения В

Расчет ср. значений разрешающей способности коэффициента мониторингования

Дата	№скв.	№ СП	разре ш.1	разре ш.2	разре ш.3	разре ш.4	Ср. разреш.
12.08.2 017	-	3	0,461	0,461	0,466	0,435	0,46
18.08.2 017	Скв. 1-10-51	3	0,461	0,436	0,435	0,447	0,44
18.08.2 017	Скв. 1-10-51	3	0,449	0,458	0,418	0,431	0,44
19.08.2 017	Скв. 1-11-43 откр.	3	0,437	0,442	0,455	0,456	0,45

23.08.2 017	Скв. 1-11-43 обс.	3		0,423	0,440	0,438	0,43
27.08.2 017	Скв. 5-13-10 обс.	3	0,456	0,433	0,453	0,440	0,45
30.08.2 017	Скв. 5-9-42 обс	3		0,443	0,418	0,423	0,43
03.09.2 017	Скв. 1-11-23; 6-3-4 обс.	3	0,476	0,446	0,442	0,465	0,46
07.09.2 017	Скв. 5-9-26 бис обс.	3	0,465	0,468	0,432	0,435	0,45
11.09.2 017	Скв. 1-11-47 откр.	3		0,438	0,424	0,458	0,44
10.09.2 017	Скв. 3-13-20 откр.	3	0,464	0,457	0,426	0,425	0,44
12.09.2 017	Скв. 3-13-22 откр.	3	0,448	0,402	0,427	0,416	0,42
14.09.2 017	Скв. 1-11-47 обс.	3	0,434	0,436	0,451	0,428	0,44
17.09.2 017	Скв. 3-13-26 откр.	3	0,463	0,422	0,448	0,445	0,44
18.09.2 017	Скв. 1-11-51 откр.	3	0,477	0,457	0,432	0,457	0,46
20.09.2 017	Скв. 3-13-24 откр.	3		0,436	0,459	0,432	0,44
22.09.2 017	Скв. 1-11-51 обс.	3	0,440	0,407	0,466	0,420	0,43
21.09.2 017	Скв. 1-11-39 откр.	3	0,451	0,476	0,462	0,445	0,46
27.09.2 017	Скв. 1-12-13 откр.	3		0,537	0,479	0,465	0,49
03.10.2 017	Скв. 1-11-51 обс.контр.	3	0,455	0,453	0,456	0,438	0,45

03.10.2 017	Скв. обс.контр.	1-11-51	3	0,412	0,409	0,404	0,400	0,41
04.10.2 017	Скв. обс.контр.	1-11-47	3	0,459	0,417	0,451	0,446	0,44

Продолжение приложения В

Расчет среднего выхода нейтронов (* 10⁸ нейтр/с)

Дата	№скв.	№С П	ВЫХО д п1	ВЫХО д п2	ВЫХО д п3	ВЫХО д п4	Ср. ВЫХ
12.08.201 7	-	3	0,69	0,78	0,98	1,00	0,8 6
18.08.201 7	Скв. 1-10-51	3	0,93	1,04	1,02	1,08	1,0 2
18.08.201 7	Скв. 1-10-51	3	1,06	1,11	1,11	1,14	1,1 1
19.08.201 7	Скв. 1-11-43 откр.	3	1,01	1,11	1,11	1,12	1,0 9
23.08.201 7	Скв. 1-11-43 обс.	3		0,85	0,99	1,03	0,9 6
27.08.201 7	Скв. 5-13-10 обс.	3	0,87	0,96	0,98	0,97	0,9 5
30.08.201 7	Скв. 5-9-42 обс	3		0,86	0,91	0,91	0,8 9
03.09.201 7	Скв. 1-11-23; 6-3-4 обс.	3	0,75	0,80	0,88	0,88	0,8 3
07.09.201 7	Скв. 5-9-26 бис обс.	3		0,81	0,89	0,85	0,8 5
11.09.201 7	Скв. 1-11-47 откр.	3	0,75	0,82	0,87	0,93	0,8 4

10.09.201 7	СКВ. 3-13-20 откр.	3	0,72	0,67	0,71	0,73	0,7 1
12.09.201 7	СКВ. 3-13-22 откр.	3	0,81	0,83	0,89	0,82	0,8 4
14.09.201 7	СКВ. 1-11-47 обс.	3	0,78	0,78	0,81	0,90	0,8 2
17.09.201 7	СКВ. 3-13-26 откр.	3	0,85	0,83	0,89	0,91	0,8 7
18.09.201 7	СКВ. 1-11-51 откр.	3	0,68	0,70	0,73	0,84	0,7 4
20.09.201 7	СКВ. 3-13-24 откр.	3		0,78	0,77	0,87	0,8 1
22.09.201 7	СКВ. 1-11-51 обс.	3	0,86	0,82	0,86	0,85	0,8 5
21.09.201 7	СКВ. 1-11-39 откр.	3	0,74	0,79	0,84	0,81	0,8 0
27.09.201 7	СКВ. 1-12-13 откр.	3		0,63	0,66	0,69	0,6 6
03.10.201 7	СКВ. 1-11-51 обс.контр.	3	0,77	0,83	0,94	0,92	0,8 7
03.10.201 7	СКВ. 1-11-51 обс.контр.	3	0,79	0,81	0,74	0,73	0,7 7
04.10.201 7	СКВ. 1-11-47 обс.контр.	3	0,80	0,81	0,83	0,90	0,8 4

Результаты геофизических исследований в опытных скважинах

КНД от 07.09.2017г

АО "Хиагда"

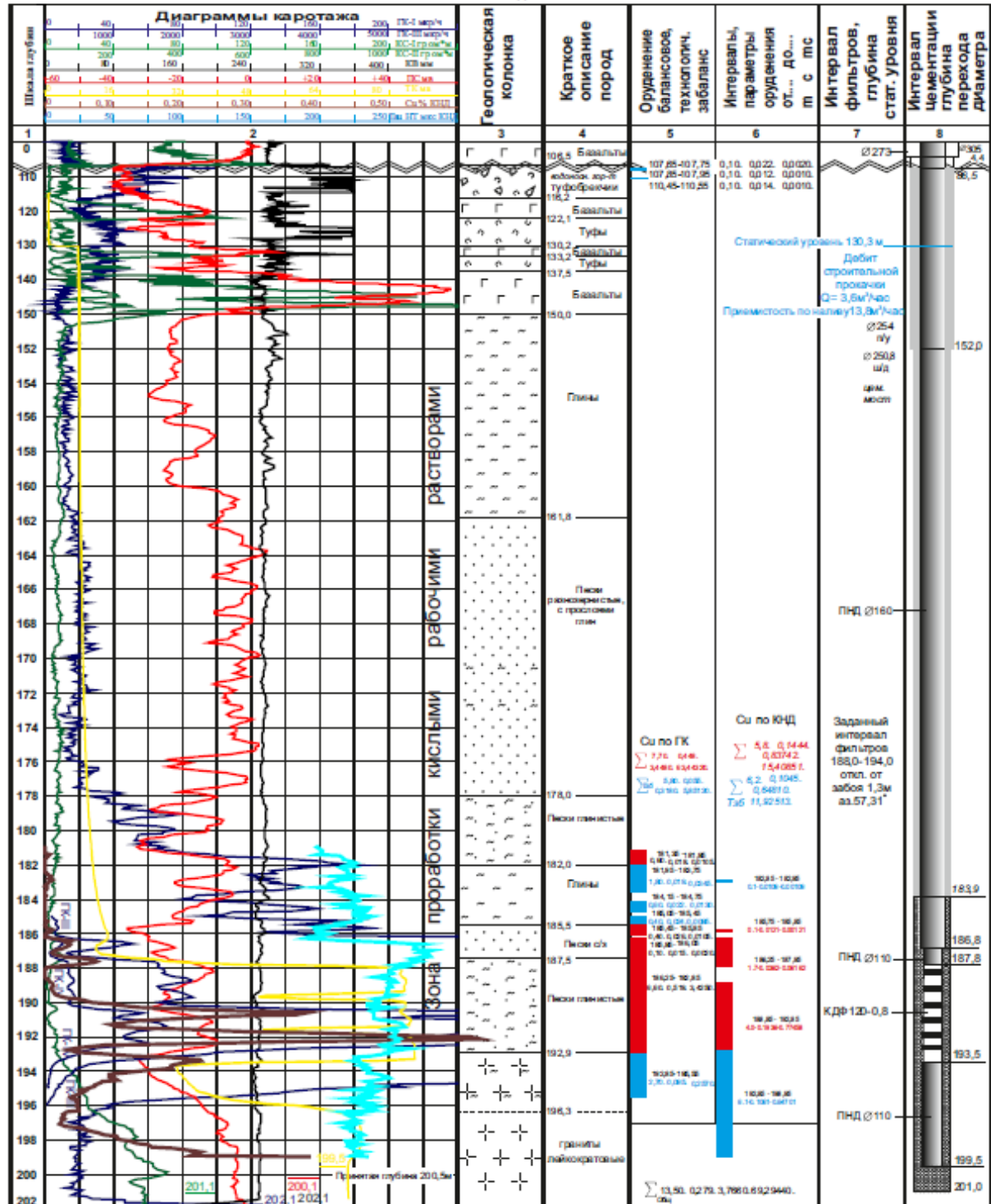
Месторождение Хиагдинское Залежь № 5 Технологический блок 5.9

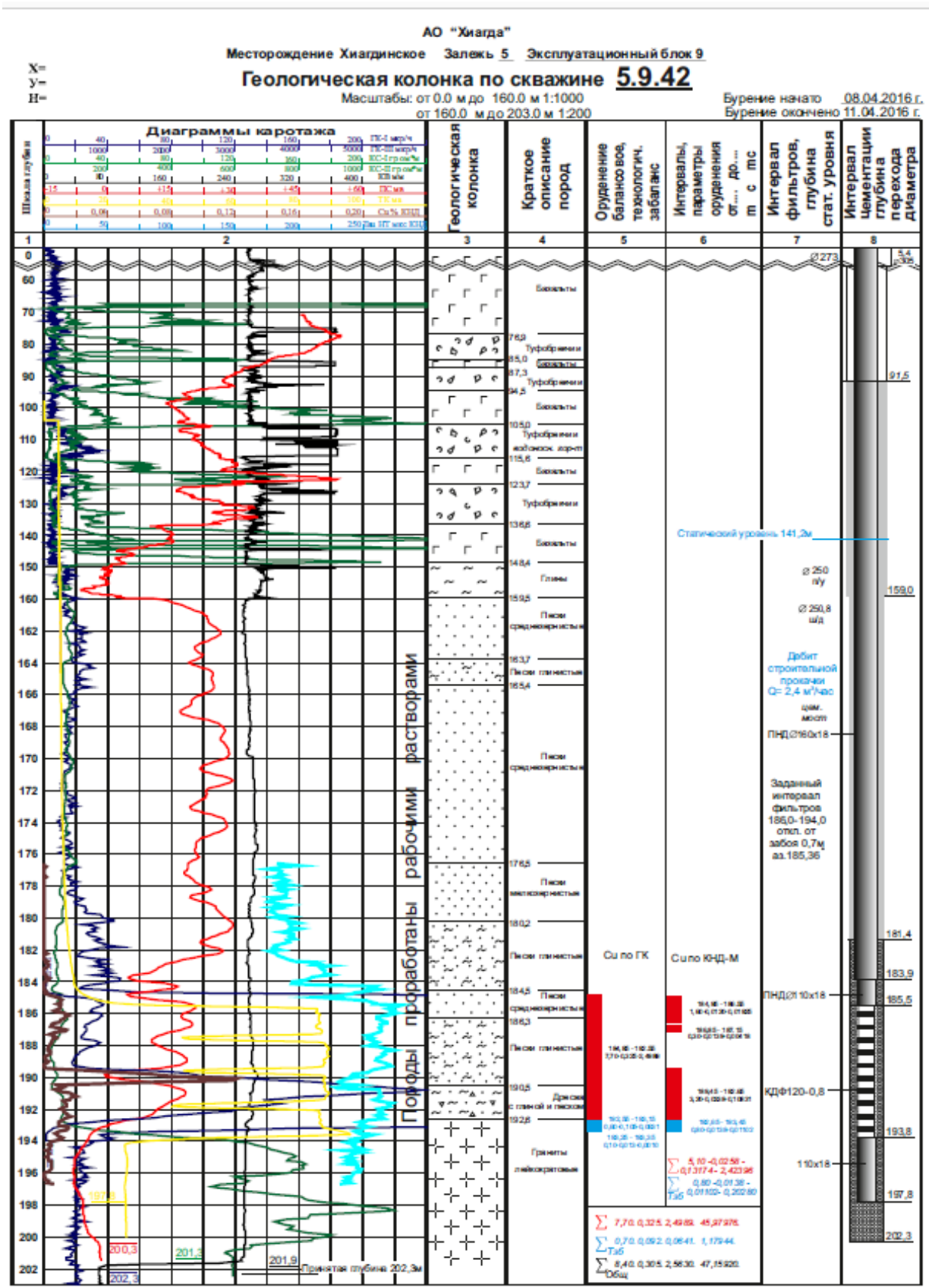
X=
Y=
H=

Геологическая колонка по скважине 5.9.26Бис

Масштабы: от 0.0 м до 150.0 м 1:1000
от 150.0 м до 202.0 м 1:200

Бурение начато 10.04.2015 г.
Бурение окончено 13.04.2015 г.





КНД-М от 27.08.2017г

Хиагинское месторождение урана.

Залежь V. Эксплуатационный блок № 13.

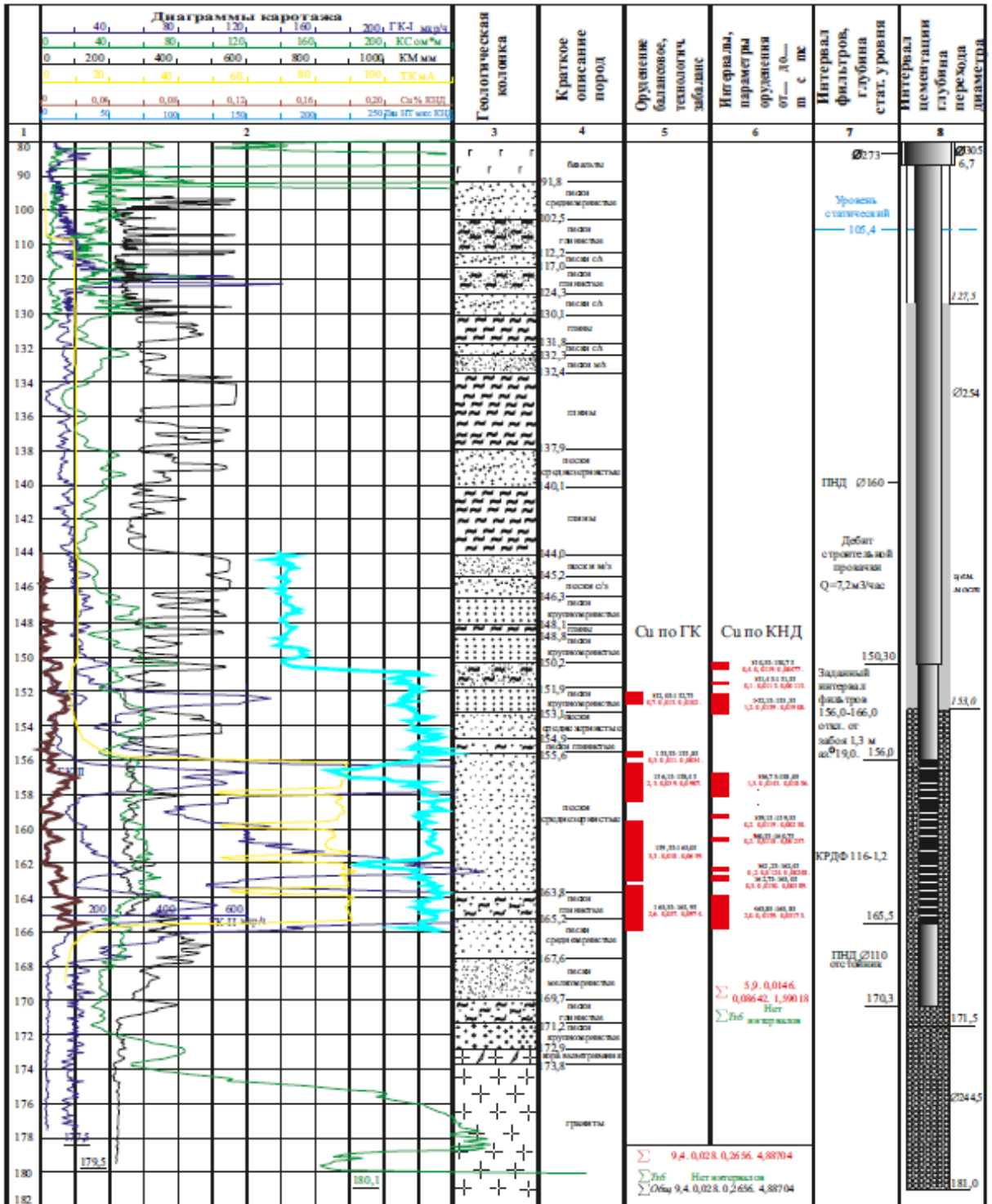
Геолого-геофизическая колонка откатной скважины № 3-10-2(5.13.10.)

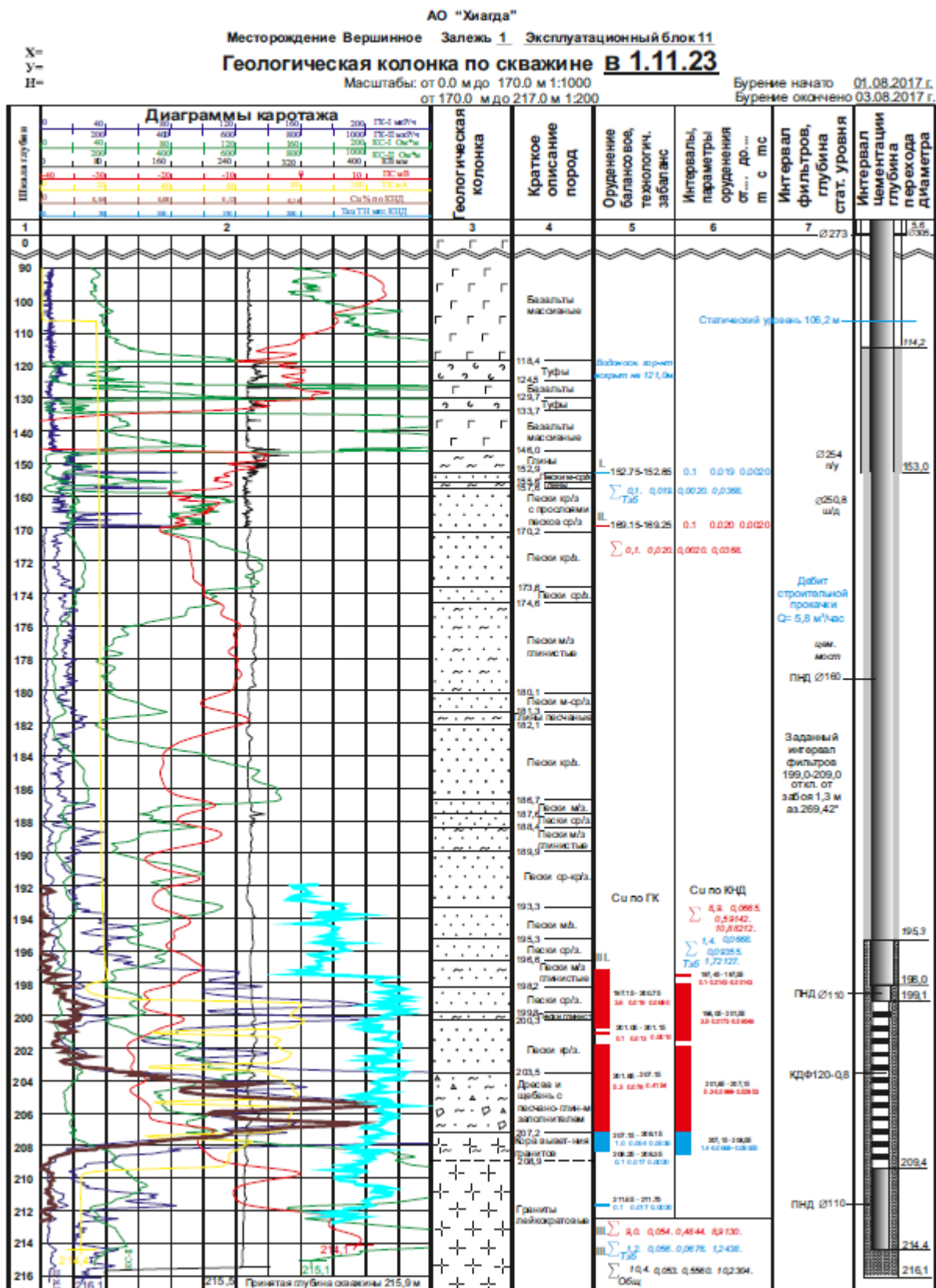
Бурение начато 04.05.2009г.

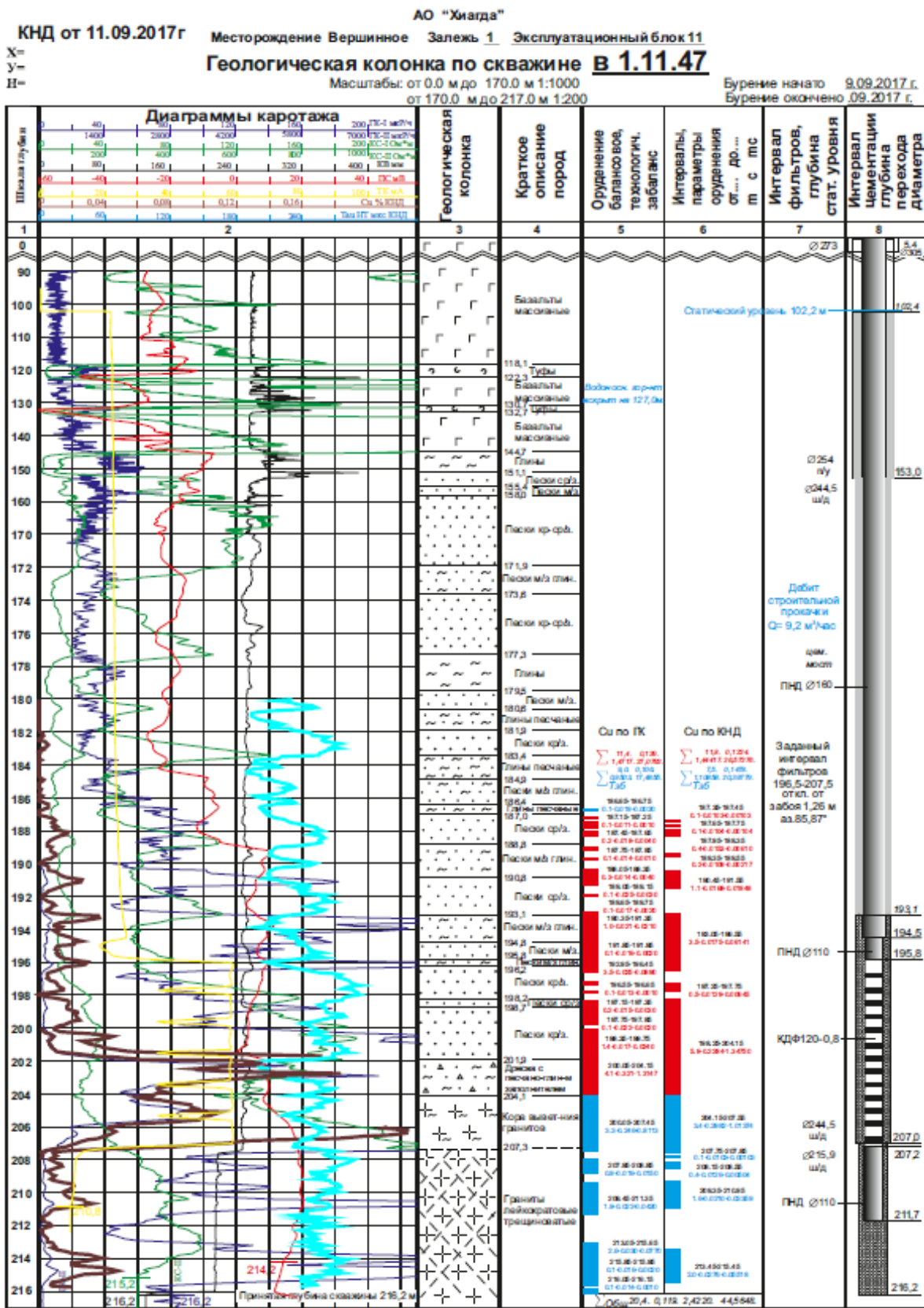
Бурение окончено 06.05.2009г.

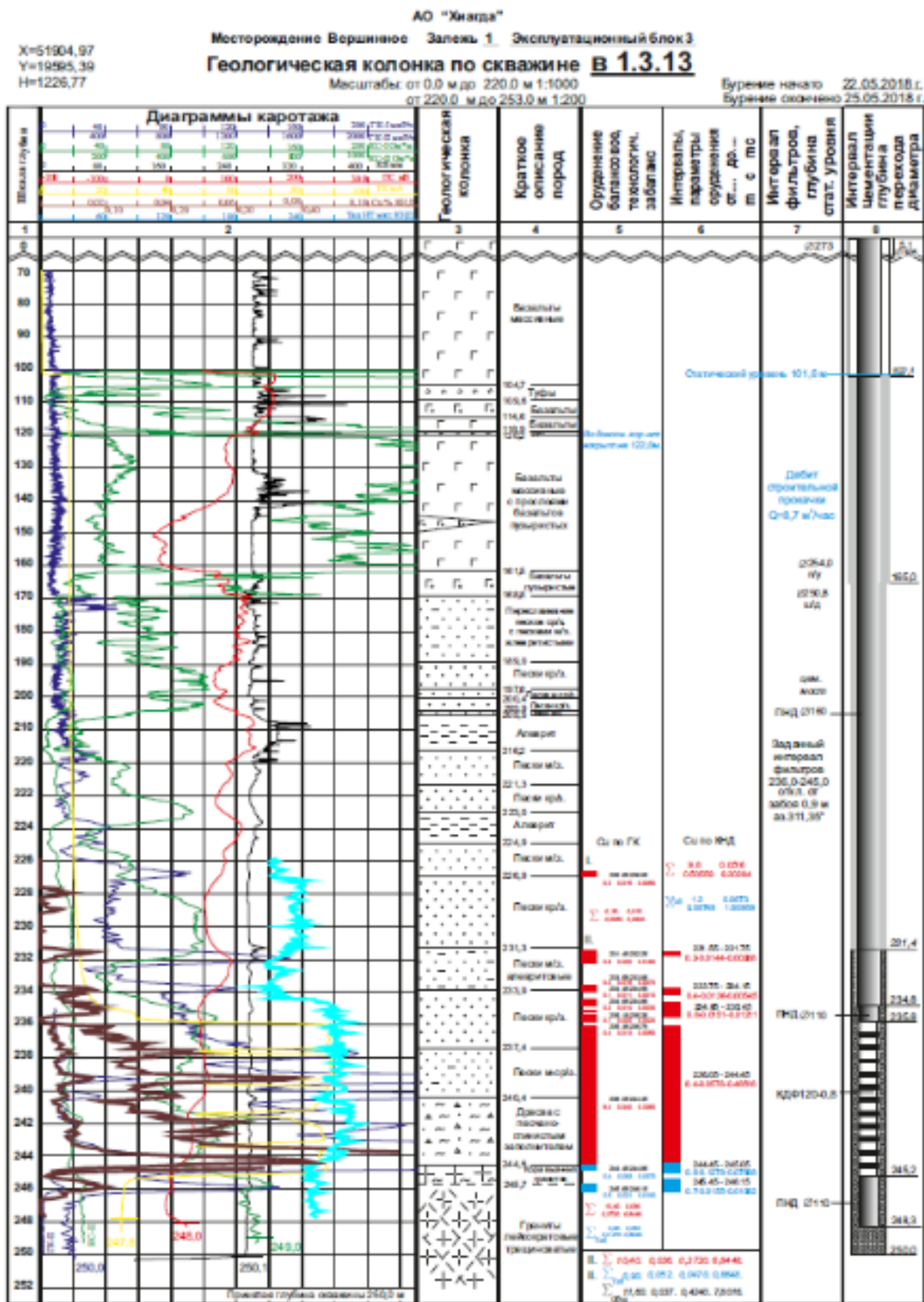
Масштабы: от 80,0 м до 130,0 м 1:1000
от 130 м до 182 м 1:200

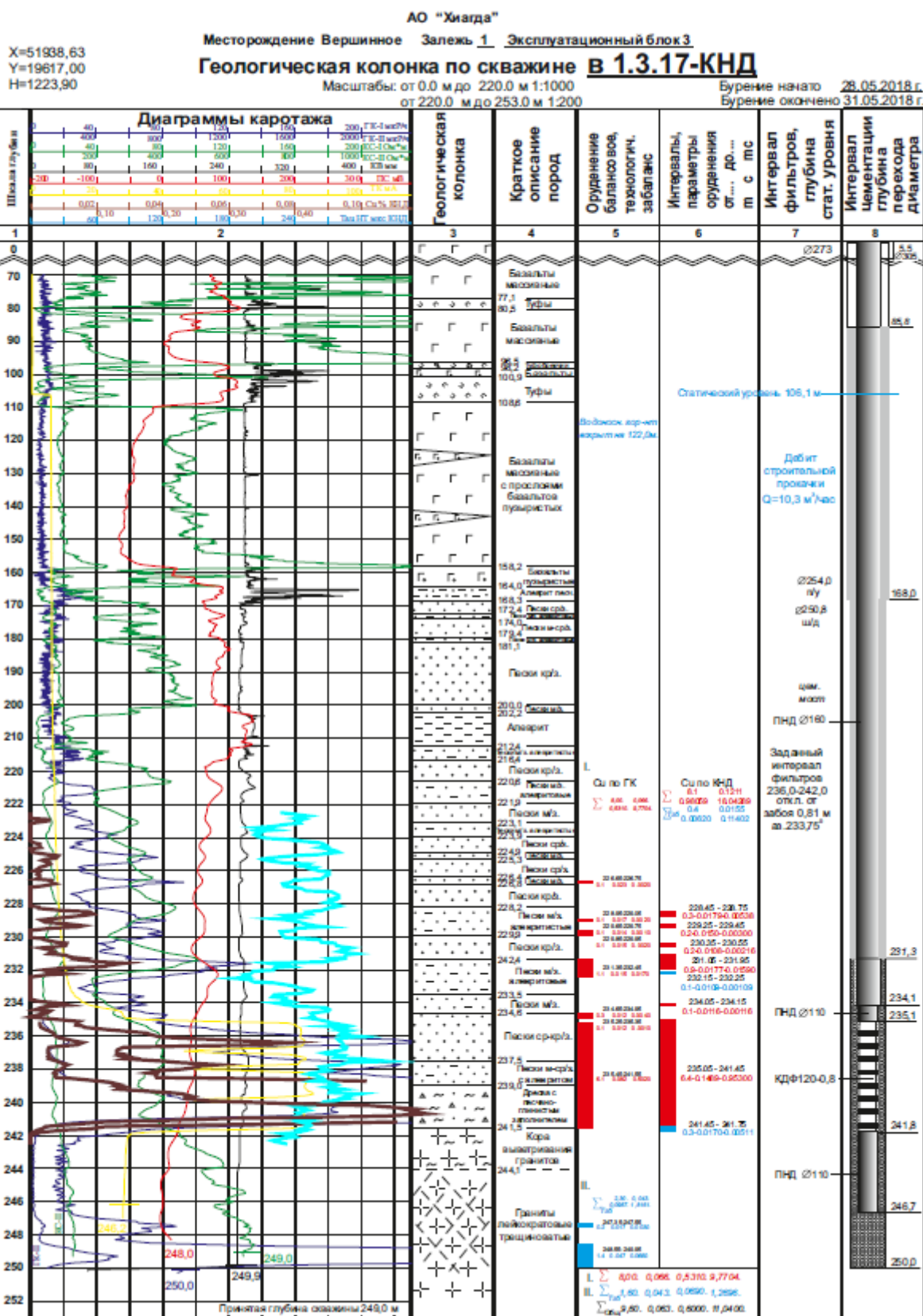
скважина принята в эксплуатацию
Уровень подземных вод 105,4 м



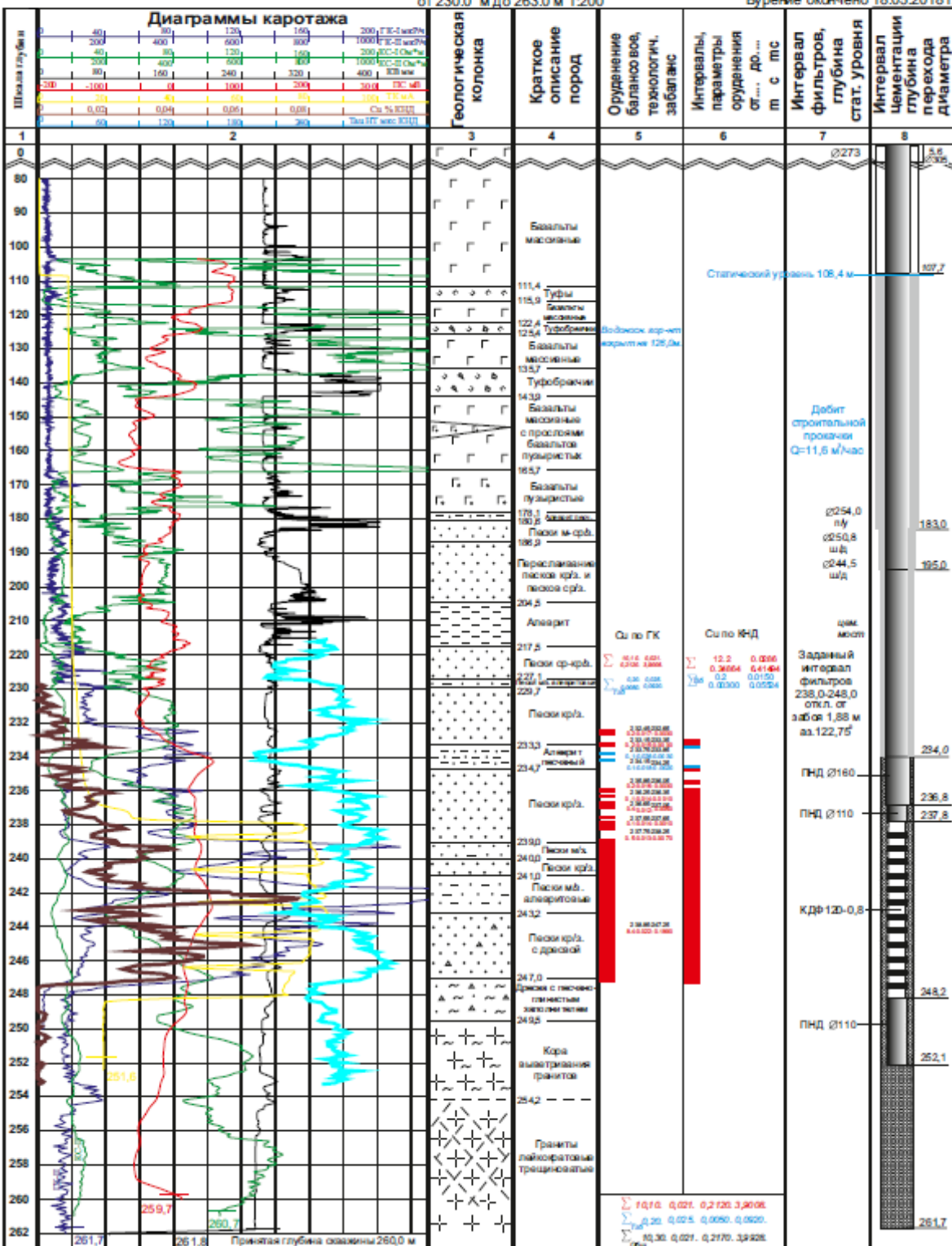








АО "Хиагда"
 Месторождение Вершинное Залежь 1 Эксплуатационный блок 2
Геологическая колонка по скважине В 1.2.23
 Масштабы: от 0.0 м до 230.0 м 1:1000
 от 230.0 м до 263.0 м 1:200
 Бурение начато 14.05.2018 г.
 Бурение окончено 18.05.2018 г.

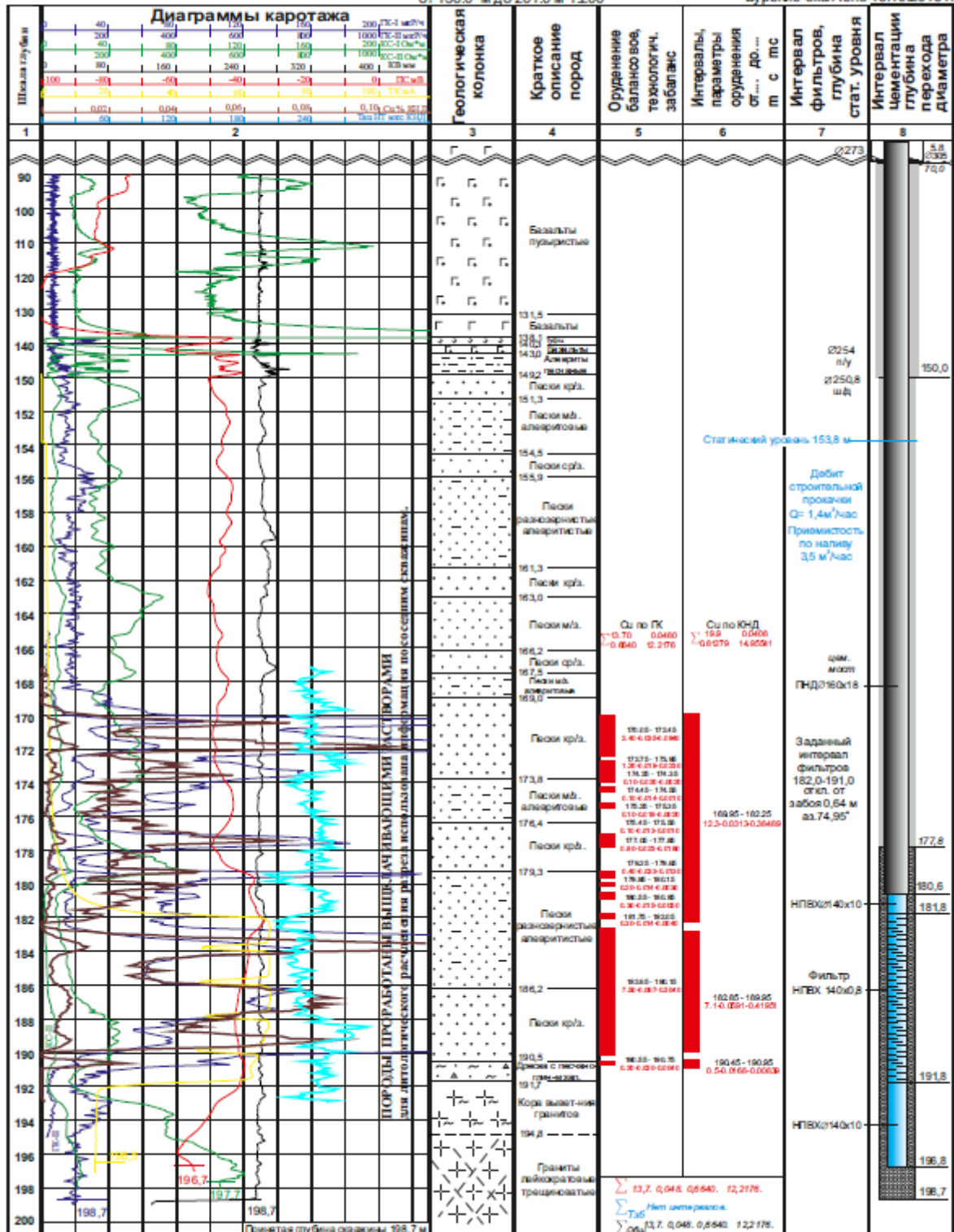


X=47919,08
Y=11557,98
N=1251,74

АО "Хиагда"
Месторождение Хиагинское Залежь 3 Эксплуатационный блок 12
Геологическая колонка по скважине **3.12.26**

Масштабы: от 0,0 м до 150,0 м 1:1000
от 150,0 м до 201,0 м 1:200

Бурение начато 12.10.2018 г.
Бурение окончено 15.10.2018 г.



Составили: геолог Л.А. Кузьмин
геофизик А.В. Олей

Проверил: гл. геолог цеха ГВ
Н.И. Максимов

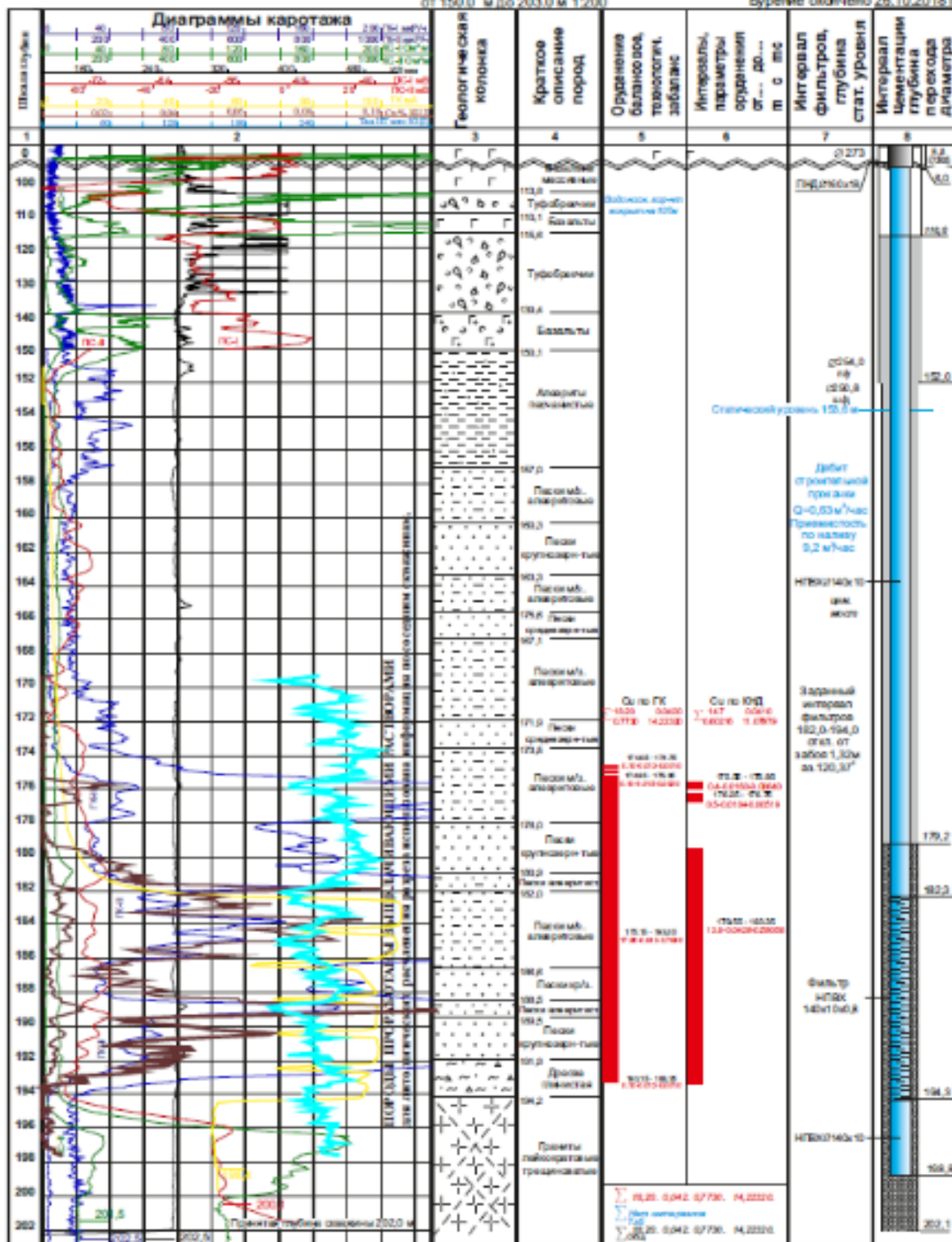
X= 47666.1
Y= 11632.8
N= 1250.5

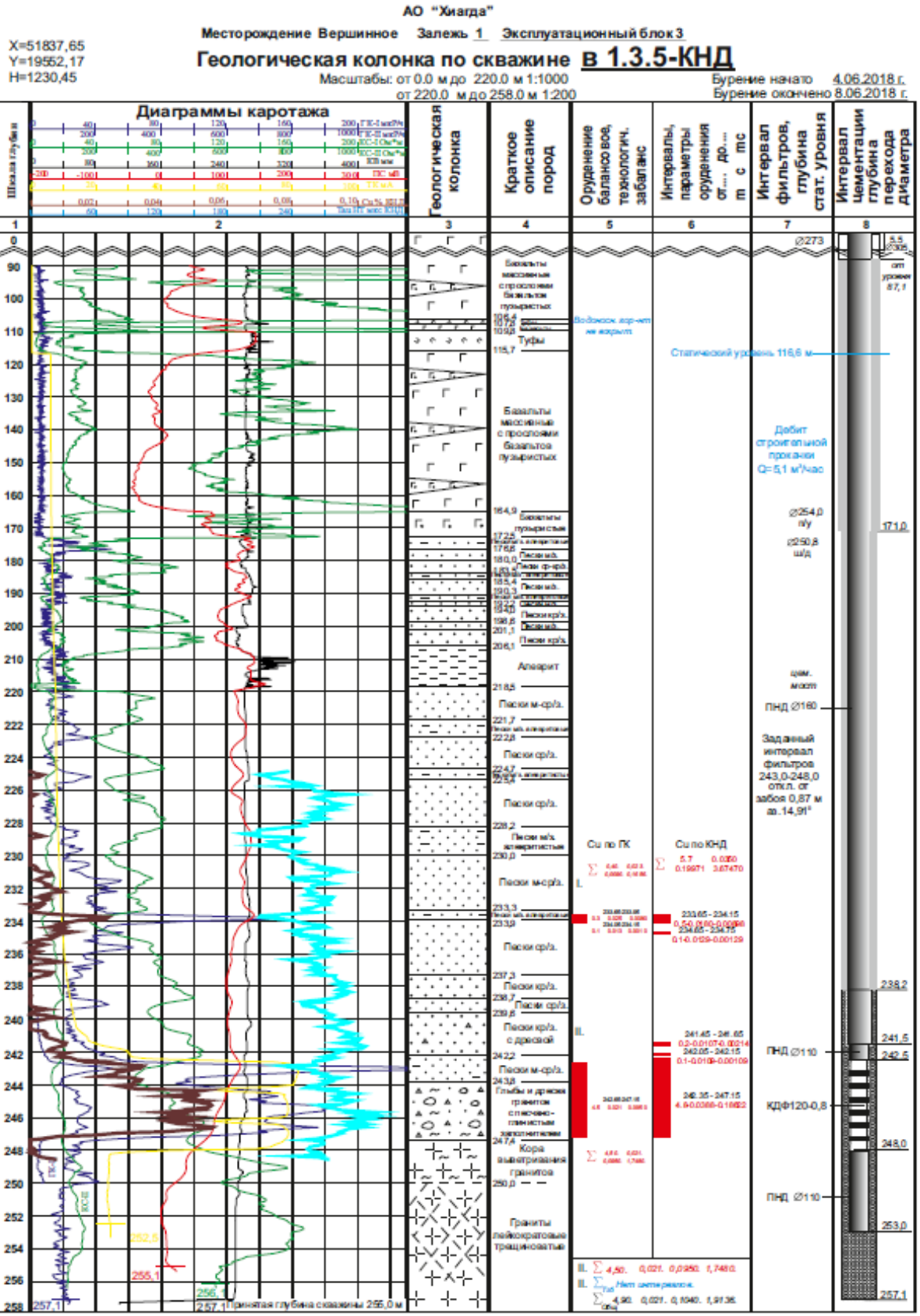
АО "Хиагда"
Месторождение Хиадинское Залежь 3 Эксплуатационный блок 12

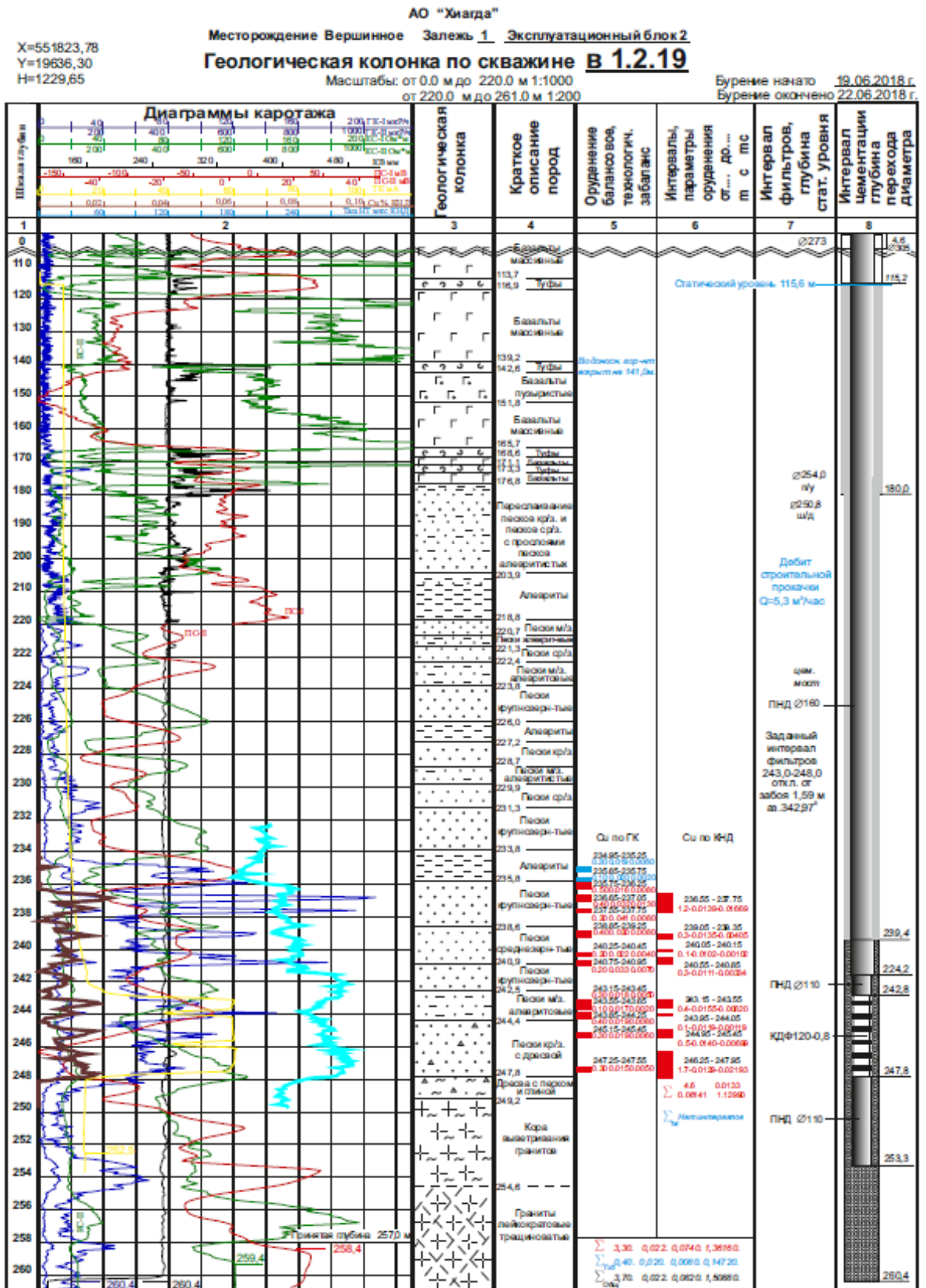
Геологическая колонка по скважине 3.12.32

Масштабы: от 0,0 м до 150,0 м 1:1000
от 150,0 м до 203,0 м 1:200

Бурение начато 26.10.2018 г.
Бурение окончено 26.10.2018 г.



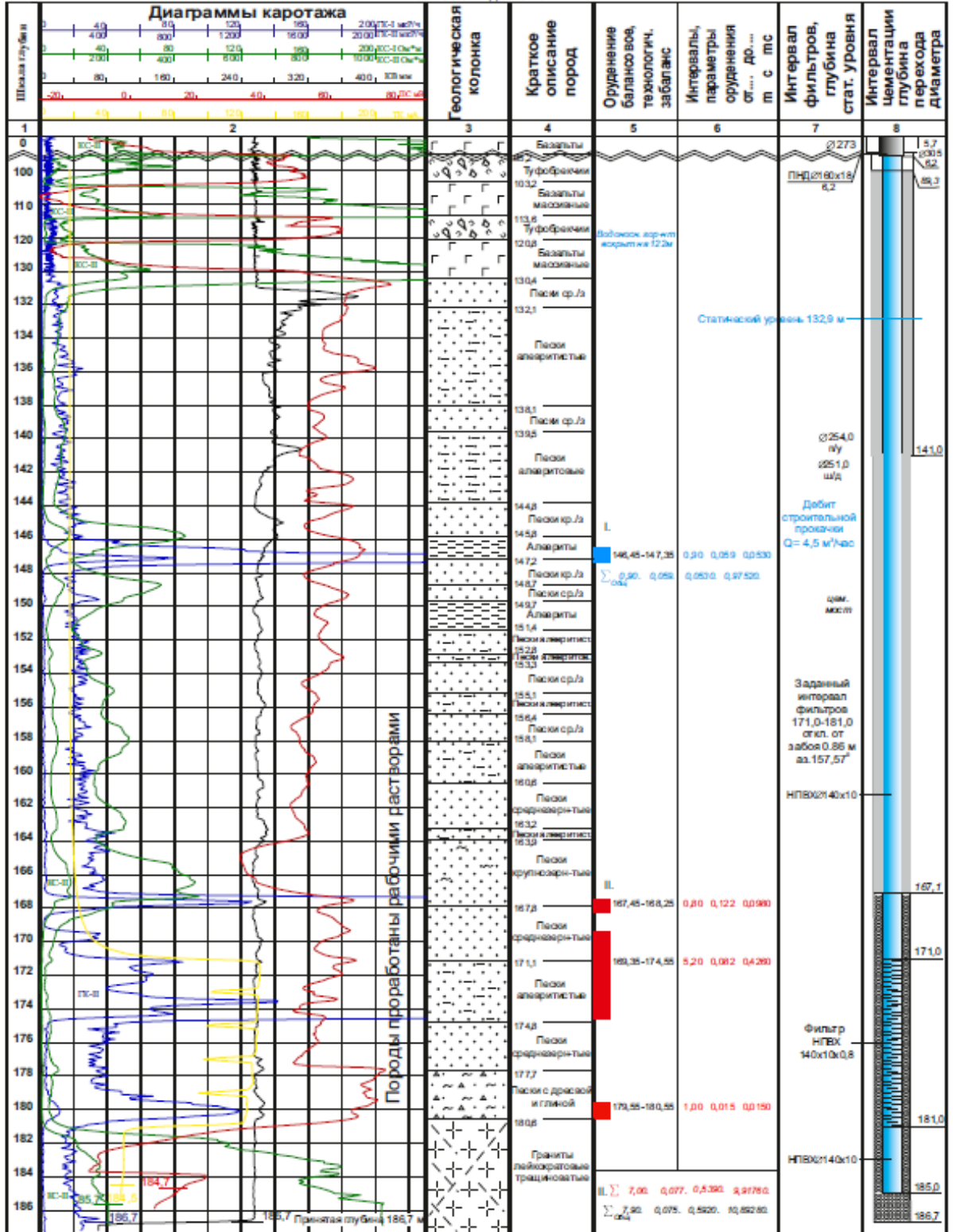




АО "Хиагда"
 Месторождение Хиагинское Залежь За Эксплуатационный блок 21
Геологическая колонка по скважине 3а.21.26
 Масштабы: от 0.0 м до 130.0 м 1:1000
 от 130.0 м до 187.0 м 1:200

Бурение начато 06.10.2020 г.
 Бурение окончено 10.10.2020 г.

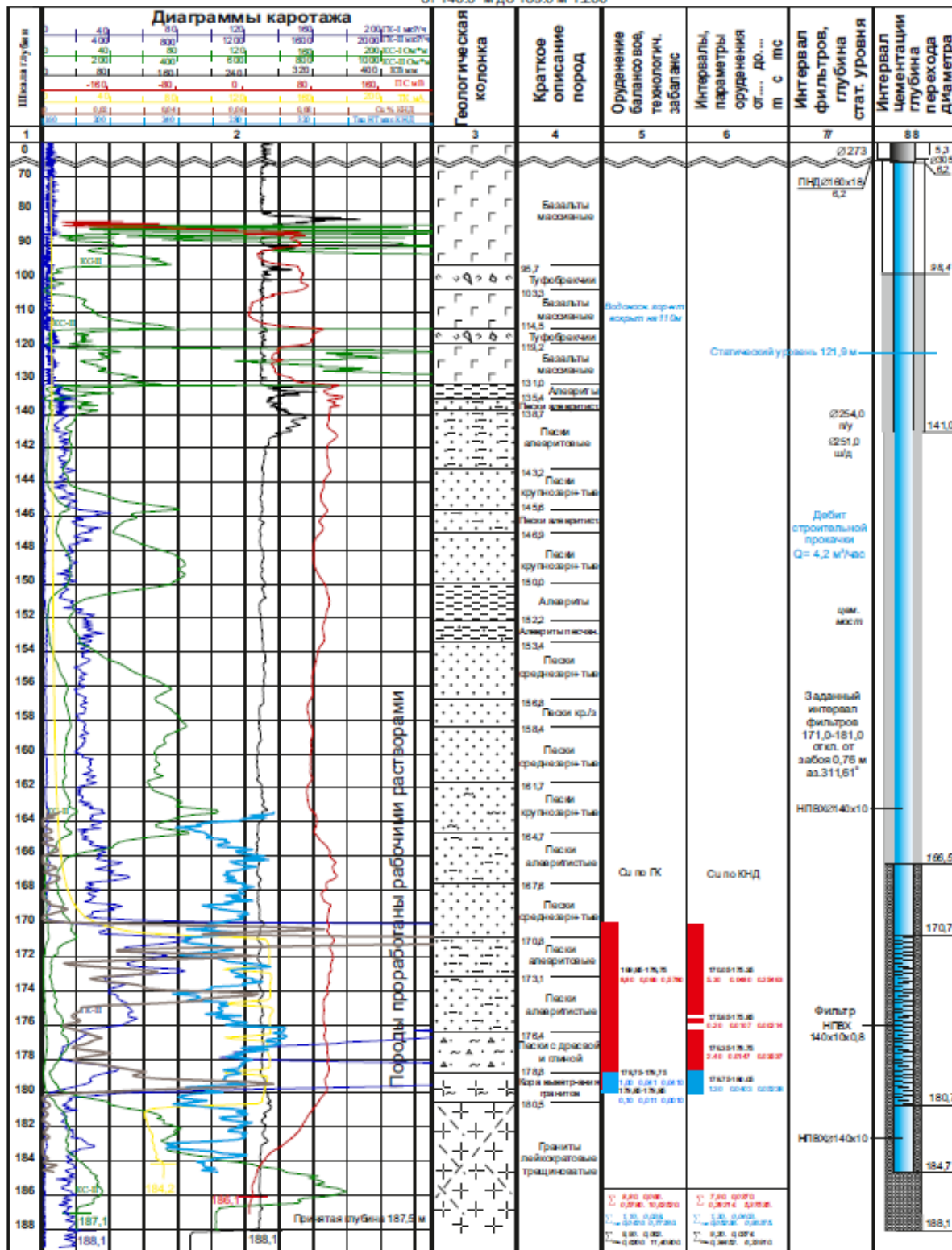
X=46576.45
 Y=11005.19
 H=1229.22

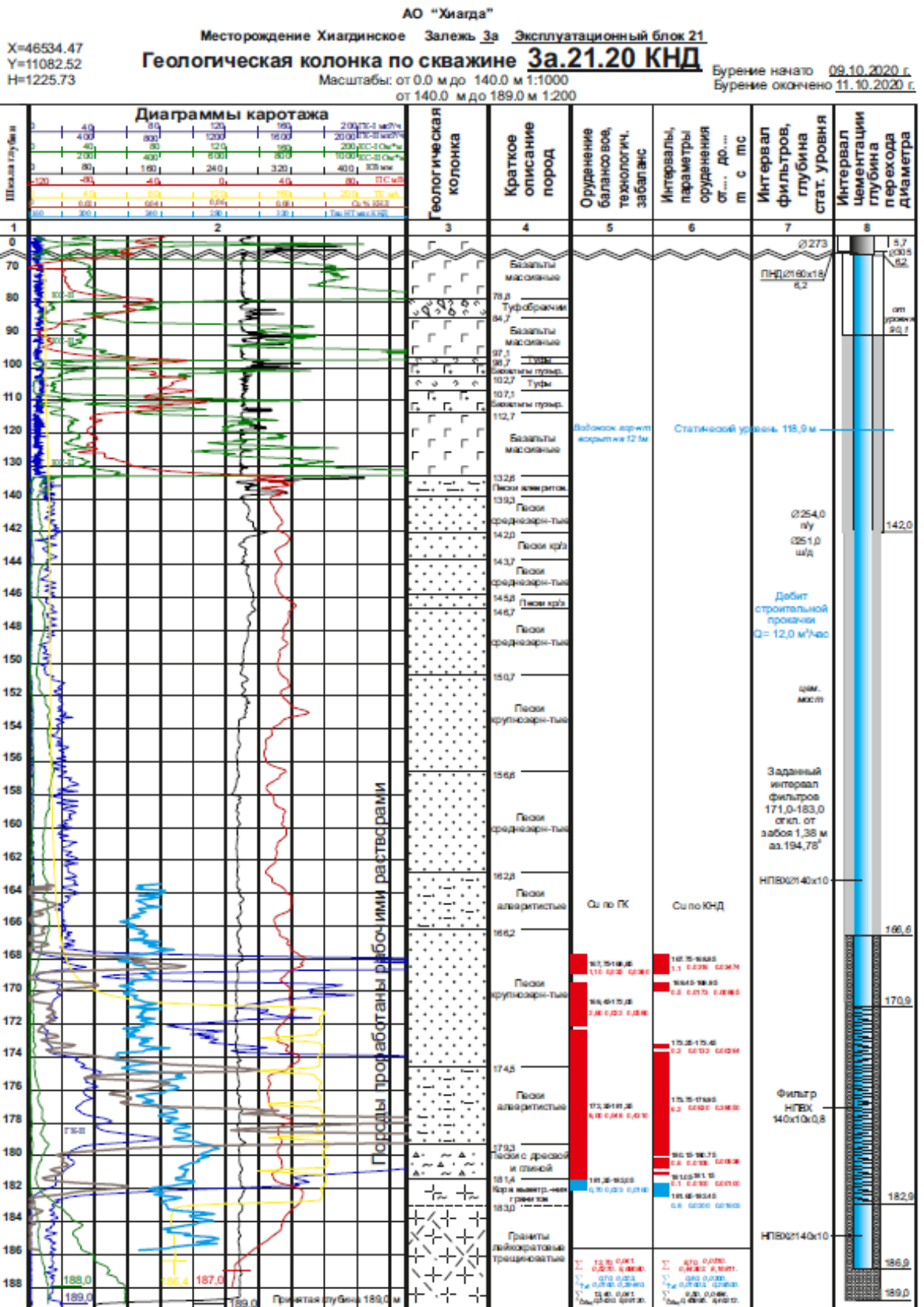


АО "Хиагда"
 Месторождение Хиагинское Залежь 3а Эксплуатационный блок 21
Геологическая колонка по скважине 3а.21.28 КНД
 Масштабы: от 0.0 м до 140.0 м 1:1000
 от 140.0 м до 189.0 м 1:200

Бурение начато 12.10.2020 г.
 Бурение окончено 15.10.2020 г.

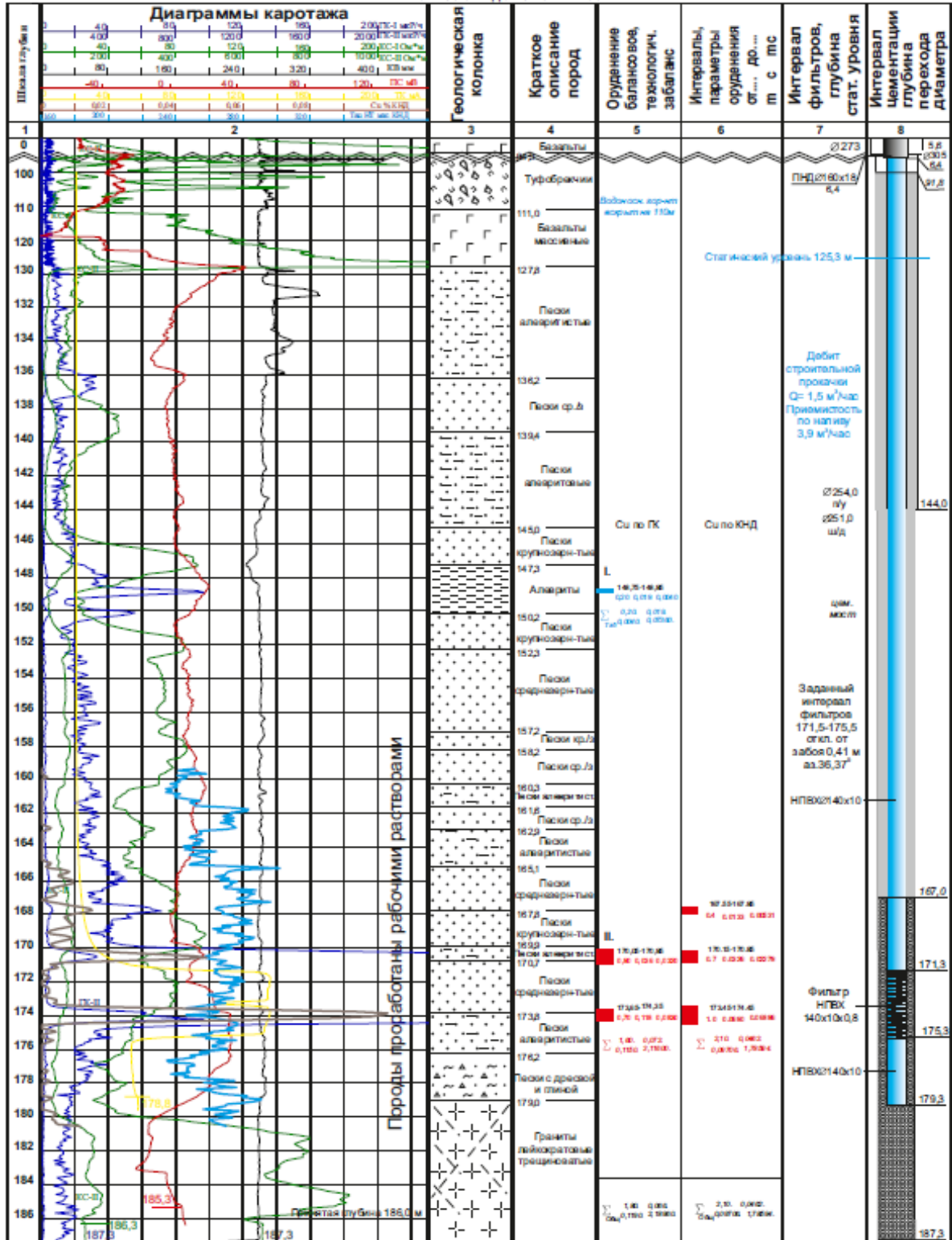
X=46592.91
 Y=11023.98
 H=1228.97





АО "Хиагда"
 Месторождение Хиагдинское Залежь За Эксплуатационный блок 21
Геологическая колонка по скважине 3а.21.39 КНД
 Масштаб: от 0.0 м до 130.0 м 1:1000
 от 130.0 м до 187.0 м 1:200

Бурение начато 06.10.2020 г.
 Бурение окончено 09.10.2020 г.



Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2017615296
«Контроль бурения»

Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*

Авторы: *Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU), Халецкая Ольга Васильевна (RU)*

Заявка № **2017612646**
Дата поступления **31 марта 2017 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **12 мая 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Исиев**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615957

«Контроль состояния скважин»

Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*Авторы: *Базаров Дмитрий Николаевич (RU), Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU)*

Заявка № 2017612647

Дата поступления 31 марта 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 мая 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2021618447**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2021618447
Дата регистрации: 27.05.2021
Номер и дата поступления заявки:
2021613085 11.03.2021
Дата публикации и номер бюллетеня:
27.05.2021 Бюл. № 6
Контактные реквизиты:
8 (3022) 21-25-15, referent@hiagda.ru

Автор(ы):
Гладышев Андрей Владимирович (RU),
Гуцул Михаил Владимирович (RU),
Носков Михаил Дмитриевич (RU),
Сакирко Георгий Константинович (RU),
Чеглоков Алексей Александрович (RU)
Правообладатель(и):
Акционерное общество «Хиагда» (RU)

Название программы для ЭВМ:

«Программное обеспечение для представления информации о месторождениях урана палеодолинного типа в виртуальном пространстве»

Реферат:

Программа предназначена для повышения эффективности разработки месторождений урана палеодолинного типа способом скважинного подземного выщелачивания путем использования технологий VR для представления и анализа геологической информации. Программа позволяет: осуществлять взаимодействие с геологической базой данных; выбор и настройку необходимой информации о геологической среде; представление всех геологических объектов в виртуальном пространстве (с помощью шлема виртуальной реальности); осуществлять взаимодействие пользователя с объектами VR модели (с помощью VR контроллеров); выводить всю необходимую информацию по объектам. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК. ОС: Windows 10.

Язык программирования: C++

Объем программы для ЭВМ: 7,77 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**RU 2017615860****ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2017615860 Дата регистрации: 25.05.2017 Номер и дата поступления заявки: 2017612672 31.03.2017 Дата публикации: 25.05.2017 Контактные реквизиты: 8 (3022) 21-25-15, referent@hiagda.ru	Авторы: Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Крюкова Елена Александровна (RU), Макшанинов Валерий Владимирович (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU) Правообладатель: Акционерное общество «Хиагда» (RU)
--	---

Название программы для ЭВМ:
«Оценка и анализ данных о работе УДПР»

Реферат:

Программа является составной частью пакета «Хиагдит» для информационного обеспечения функционирования добычного комплекса АО «Хиагда» и предназначена для поддержки принятия управленческих решений и контроля работы участка добычи продуктивных растворов (УДПР). Программа обладает следующими функциональными возможностями. Взаимодействие с базой технологических данных предприятия осуществляется на основе клиент-серверной технологии с помощью запросов на языке Transact SQL. Данные представляются в виде таблиц, графиков и планов. Интерактивный план и система диалогов позволяют визуализировать, анализировать и контролировать весь объем данных о состоянии и работе объектов УДПР, выполнять поиск объектов по различным критериям и исследовать взаимосвязи между различными параметрами и показателями.

Тип реализующей ЭВМ:	IBM PC - совмест. ПК
Язык программирования:	C++
Вид и версия операционной системы:	Windows XP/7/8/10
Объем программы для ЭВМ:	10948096 байт

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019615730

**«Программное обеспечение для повышения экономической
эффективности обработки эксплуатационных блоков АО
«Хиагда»**

Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*

Авторы: *Валитов Станислав Николаевич (RU), Гладышев Андрей
Владимирович (RU), Гончарова Наталья Александровна (RU), Гуцул Михаил
Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Крюкова Елена
Александровна (RU), Махшанинов Валерий Владимирович (RU), Носков
Михаил Дмитриевич (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU)*

Заявка № 2019610254

Дата поступления 11 января 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 07 мая 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019661994

**«Система оперативного контроля и анализа работы
добычного полигона АО «Хиагда»**Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*Авторы: *Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Крюкова Елена Александровна (RU), Макшанинов Валерий Владимирович (RU), Михайлов Анатолий Николаевич (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU)*Заявка № **2019619389**Дата поступления **29 июля 2019 г.**Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **13 сентября 2019 г.**Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности **Г.П. Ивлиев**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019661995

**«Система оптимизации отработки рудных залежей АО
«Хиагда»**Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*Авторы: *Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей
Дмитриевич (RU), Крюкова Елена Александровна (RU), Макшанинов
Валерий Владимирович (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU),
Чеглоков Алексей Александрович (RU)*Заявка № **2019619391**Дата поступления **29 июля 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **13 сентября 2019 г.**Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности **Г.П. Ивлиев**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2019662420**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2019662420 Дата регистрации: 24.09.2019 Номер и дата поступления заявки: 2019619393 29.07.2019 Дата публикации и номер бюллетеня: 24.09.2019 Бюл. № 10 Контактные реквизиты: 8 (3022) 21-25-15, referent@hiagda.ru	Автор(ы): Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Макшанинов Валерий Владимирович (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Сакирко Георгий Константинович (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU) Правообладатель(и): Акционерное общество «Хиагда» (RU)
---	---

Название программы для ЭВМ:
«Система планирования горных работ АО «Хиагда»

Реферат:

Программа предназначена для формирования планов горных работ, обеспечивающих заданные плановые показатели добычи урана. Программа обладает следующими функциональными возможностями. Взаимодействие с базой технологических данных предприятия на основе клиент-серверной технологии с помощью запросов на языке Transact SQL. Программа позволяет осуществлять автоматизированное построение планов горных работ, в соответствии с заданными пользователем параметрами. Построение планов горных работ осуществляется на основе плановых показателей добычи и многофакторных цифровых моделей отработки эксплуатационных блоков. Программа позволяет формировать отчетную документацию в формате Microsoft Excel, которая содержит планы горных работ и прогнозные геотехнологические показатели отработки.

Язык программирования: C++
 Объем программы для ЭВМ: 5,37 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019615369

**«Система прогнозирования геотехнологических показателей
эксплуатационных блоков АО «Хиагда»**

Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*

Авторы: *Гладышев Андрей Владимирович (RU), Истомин Андрей
Дмитриевич (RU), Макшанинов Валерий Владимирович (RU), Носков
Михаил Дмитриевич (RU), Сакирко Георгий Константинович (RU),
Чеглоков Алексей Александрович (RU)*



Заявка № **2019610233**

Дата поступления **11 января 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **25 апреля 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019615200

«Система проектирования и оптимизации вскрытия рудных залежей АО «Хиагда»

Правообладатель: *Акционерное общество «Хиагда» (RU)*

Авторы: *Гладышев Андрей Владимирович (RU), Гуцул Михаил Владимирович (RU), Истомин Андрей Дмитриевич (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Халецкая Ольга Васильевна (RU), Чеглоков Алексей Александрович (RU)*

Заявка № **2019610305**

Дата поступления **11 января 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **22 апреля 2019 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Изrael**



Приложение Е

Оценка экономической эффективности внедренных технологий

Оценка экономической эффективности НИОКР и ТР выполнена в соответствии с отраслевыми руководящими материалами:

- Единые отраслевые методические указания по проведению оценки реализуемых и планируемых к реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, утвержденные приказом Госкорпорации «Росатом» от 11.06.2014 №1/542-П;

- Методические указания по формированию показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников в текущих ценах в процентах от валового внутреннего продукта», утвержденные приказом Госкорпорации «Росатом» от 23.10.2020 №1/1238-П.

При расчете достигнутого экономического эффекта внедрения каждой из новых технологий разработаны финансово-экономические модели (ФЭМ). В качестве исходных технических данных в ФЭМ использованы параметры и показатели работы технологических скважин и блоков по залежам и месторождениям из базы информационной системы «Хиагдит». Из бухгалтерской отчетности предприятия для расчета операционных затрат по годам на весь период полезного использования технологии, определяемого комиссией по нематериальным активам, использованы нормы расхода материалов и энергоресурсов, объемов продуктивных растворов и производства готовой продукции, а также цены на материалы и энергоресурсы.

1. Оптимизация параметров регулярных сетей вскрытия рудных залежей технологическими скважинами. Затраты на НИОКР в 2011-2013 гг составили 6,0 млн.руб. Капитальные затраты на сооружение дополнительных технологических скважин на блоках Х5-8 и Х5-10 (36,9 млн.руб) полностью окупились в первый год внедрения технологии.

Оптимизация схем вскрытия обеспечила выход скважин на проектную мощность и выше, а также значительный прирост содержания урана в продуктивном растворе (ПР), что привело к увеличению объема готовой продукции в 2 раза (табл. 1). Акты внедрения приведены в папке с приложениями.

Таблица 1. Достигнутый эффект от внедрения технологии.

Инвестиционные затраты (бурение и погружные насосы)	36,8 млн. руб
Прирост объема готовой продукции	160 тонн
Экономический эффект (2012-2022)	144,6 млн.руб.

2. *Нерегулярные сети вскрытия рудных залежей (сгущение сетей)* применены на блоках X1.3, X3.13, B1.9, B1.10, B1.14, B1.20, X1.3, Кл1а.2, Кл1а.3. Дополнительно пробурено 117 скважин. Затраты на дополнительное бурение составили 101,8 млн.руб. Эти затраты полностью окупились и по состоянию на 31.12.2024 получен технологический эффект за счет увеличения темпа отработки блоков и, соответственно, сокращения времени их отработки, увеличения содержания урана в ПР, сокращения электроэнергии и расхода серной кислоты. Суммарный достигнутый экономический эффект составил 2176,477 млн.руб (табл. 2).

Таблица 2. Достигнутый эффект от внедрения технологии

Инвестиционные затраты (бурение и погружные насосы)	743,4 млн. руб
Экономический эффект	2176,5 млн. руб

3. *Каротаж мгновенных нейтронов деления (КНД-М)*. На стадии разведки и при вскрытии рудных залежей технологическими скважинами КНД-М повышает достоверность оценки запасов и исключает погрешности, связанные с изменчивостью коэффициента радиоактивного равновесия – $K_{рр}$. Основной эффект достигается при контрольном бурении, добурировании и перебурировании технологических скважин за счет исключения бурения скважин с керном, геологического опробования керна, химико-аналитических и радиометрических определений урана, радия, калия и тория. В таких скважинах в 2017-2024 гг. выполнено 269 каротажей КНД-М. Экономический эффект составил 300,928 млн.руб. (табл. 3).

Таблица 3. Достигнутый эффект от внедрения технологии.

Инвестиции	28,8 млн. руб
Снижение стоимости бурения контрольных скважин за 1 п.м.	45%
Экономический эффект	300,9 млн. руб.

4. *Эффект от снижения потерь и разубоживания урана в недрах – обеспечение полноты и качества освоения недр СПВ*. Этот вид эффекта практически невозможно экономически оценить. Но как не парадоксально он очевиден.

Выявление, оценка и контроль потерь и разубоживания урана при СПВ не простая задача и до последнего времени решалась лишь частично. Появление современных методов компьютерного геотехнологического математического моделирования, систем автоматизированного проектирования, технологий сооружения надежных

эксплуатационных скважин, геофизических методов исследований в скважинах позволили не только обнаруживать потери и разубоживание урана, но и оценивать их размер и находить способы их минимизации и устранения, что исключает неполноту освоения месторождений и повышает эффективность СПВ.

Потери. В общем представлении под потерями твердого полезного ископаемого при разработке месторождений понимают потери балансовых запасов при добыче и переработке руд. Различают нормативные (проектные) и сверхнормативные потери.

При подземном горном способе разработки урановых месторождений (ПГР) фактические потери с достаточной точностью оцениваются и контролируются по результатам опережающей добычу урана эксплуатационной разведки и при непосредственном извлечении урановой руды в очистном забое, а также на всех этапах обогащения и переработки руд.

В отличие от ПГР оценка потерь урана при СПВ в статьях и в наиболее полных монографиях на эту тему либо вообще не рассматривается, либо освещена в очень упрощенной и неявной форме. А методы выявления и устранения сверхнормативных потерь вообще в публикациях отсутствуют. Объясняется это несколькими причинами.

Во-первых, при СПВ отсутствует стадия добычи руды. Процесс освоения рудной залежи начинается с переработки урановых руд на месте их залегания. Выщелачивание урана из руд протекает не в пачуках или автоклавах, как при ПГР, а в межскважинном пространстве из рудоносного проницаемого слоя (пласта). Поэтому иногда предлагаемый механический перенос методик и требований, предъявляемых к снижению потерь при ПГР на СПВ, является некорректным. При СПВ должны рассматриваться только потери при переработке урановых руд. Поэтому главные контролируемые потери при СПВ – это отклонение от нормируемого (регламентированного) извлечения урана из руд на месте залегания в выщелачивающий раствор и извлечения урана из продуктивного раствора на поверхностной перерабатывающей установке при получении готовой продукции (ГП). Степень извлечения урана из руд в раствор ($\epsilon_{р-р}$) проектами предусмотрена на уровне 80%, а степень извлечения урана из раствора в ГП ($\epsilon_{ТВ}$) – 2%.

Во-вторых, традиционные методы выявления и контроля потерь при СПВ неточные и крайне дорогостоящие. Например, рекомендуется бурение контрольных скважин с керном или без керна с каротажем мгновенных нейтронов деления по регулярной сети. Реализация этой рекомендации – это прямой путь к нерентабельному СПВ.

Исследованиями установлено, что при СПВ имеют место *устраняемые и неустраняемые (неизбежные) потери урана*. К последним относятся потери, связанные с ассоциацией урановых минералов с сульфидами и другими труднорастворимыми

минералами; ураном в составе глинистых песков и глин в слабопроницаемых отложениях с $K_f < 1$ м/сут; выносом урана на периферию фильтрационного потока выщелачивающих растворов; ураном в остаточных сернокислых растворах после завершения отработки рудной залежи. Как правило, на практике все перечисленные неустраимые потери в сумме не превышают регламентированные потери – 20%.

В конце отработки рудной залежи, когда содержание урана в продуктивных растворах (ПР) снижается до 5-25 мг/дм³ возникает вопрос: когда выводить залежь из эксплуатации? Для этого нужно определить минимальное промышленное содержание урана в продуктивных растворах. Это экономический параметр. На **рис. 1** приведен пример кривой извлечения урана из руд на отработанной залежи Х6 месторождения Хиагдинское. Минимальное промышленное содержание урана в ПР определено для этих условий с помощью технико-экономической модели (ТЭМ) и составляет 20 мг/л. В ТЭМ постоянными величинами приняты – цена реализации урана и стоимость 1 т серной кислоты, производимой АО «Хиагда» на собственном сернокислотном заводе, а переменными величинами являются содержание урана в ПР и добавляемая на доукрепление выщелачивающих растворов (ВР) серная кислота. При содержаниях урана в ПР <20 мг/дм³ и добавляемой серной кислоты 3 г/дм³ дальнейшая отработка залежи Х6 нерентабельна.

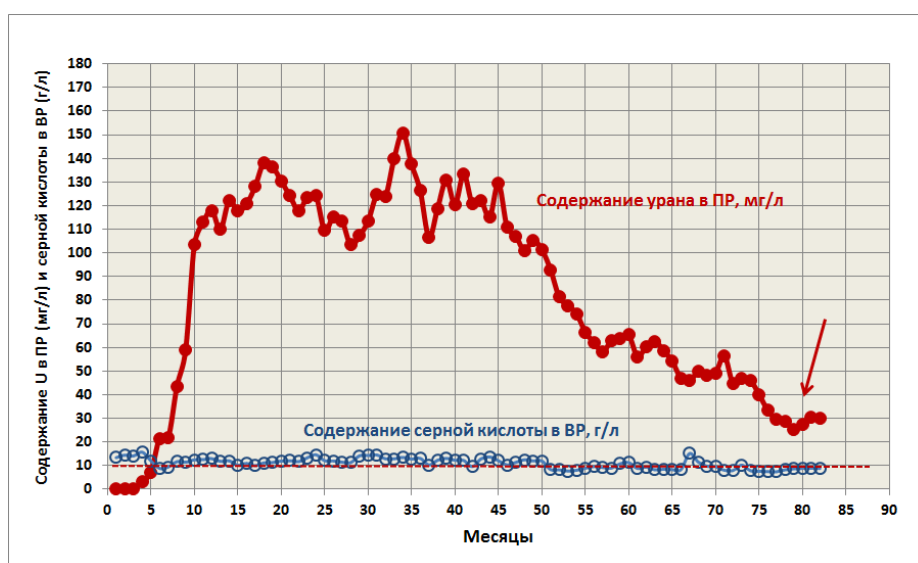


Рисунок 1. График отработки рудной залежи Х6 Хиагдинского месторождения

Таким образом, в остающихся после отработки СПВ растворах содержание урана < 20 мг/л – это и есть неизбежные потери, которые являются частью суммарных нормативных потерь.

Следующий пример иллюстрирует неустраимые потери урана при его выносе на периферию фильтрационного потока выщелачивающих растворов в разрезе (**рис. 2**).

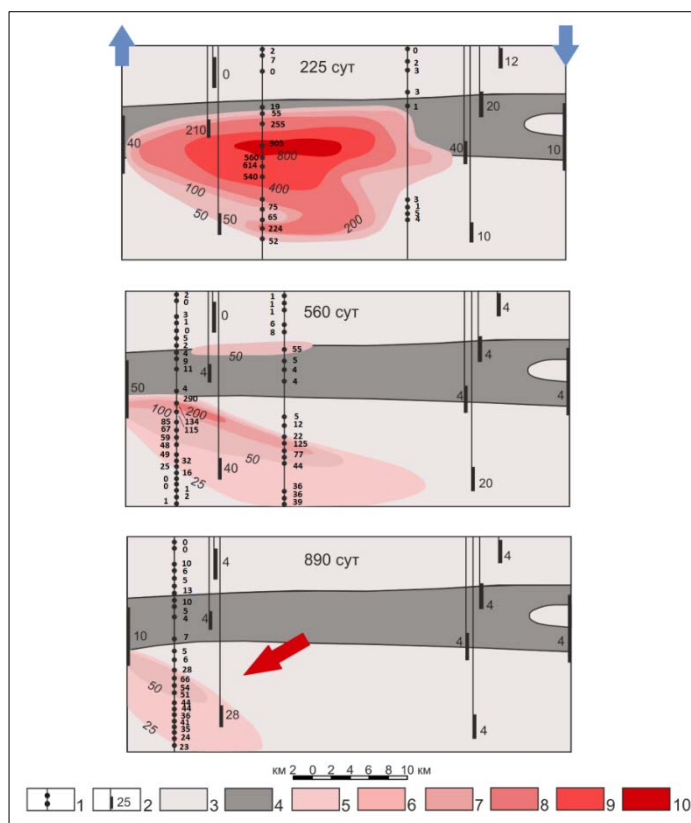


Рисунок 2. Неизбежные потери урана на периферии фильтрационного потока выщелачивающих растворов в разрезе рудоносного горизонта

Распределение растворенного урана в проницаемых отложениях рудоносного горизонта в мг/дм³: 1 – изученные образцы порового раствора; 2 – фильтр скважины и значение концентрации урана; 3 – безрудные проницаемые отложения; 4 - рудоносные проницаемые пески; 5-10 – поля распределения растворенного урана: 5 – 25÷50, 6 – 50÷100, 7 – 100÷200, 8 – 200÷400, 9 – 400÷800, 10 – >800

выщелачивающих растворов (гидродинамической дисперсии), которые также являются частью нормативных потерь.

Устраняемые потери. Возможность выявлять и эффективно устранять потери урана при СПВ, не допуская появления сверхнормативных потерь, появилась сравнительно недавно с разработкой комплекса компьютерных программ.

Геотехнологическое моделирование дает возможность на любой момент отработки рудной залежи иметь информацию об остаточных запасах урана в виде площадной продуктивности, распространения по площади залежи серной кислоты и содержания растворенного урана в выщелачивающих растворах. Эта информация полезна для принятия решения об оптимизации отработки запасов и исключения потерь урана в не прорабатываемых серноокислыми растворами рудах.

При СПВ скорость движения растворов в межскважинном пространстве характеризуется высокой неоднородностью: в рудоносном слое – 0,4÷1,2 м/сут; на периферии потока вблизи верхнего и нижнего водоупоров – 0,02÷0,1 м/сут. В начале процесса растворенный уран перемещается по рудному и нижнему слоям горизонта. На завершающей стадии он остается только в нижнем слое (показано стрелкой) и не извлекается на поверхность через откачные скважины, так как отжимается к подошве горизонта более быстрым потоком в среднем рудоносном слое. Содержание растворенного урана в этой части горизонта изменяется от 23 до 66 мг/дм³. Это неустраняемые потери урана в недрах, связанные с особенностями гидродинамики

Также доказана возможность устранения сверхнормативных потерь урана в застойных гидродинамических зонах внутри эксплуатационных блоков методом реверсирования потока выщелачивающих растворов.

Еще один вид сверхнормативных потерь урана – образование в конце СПВ останцов вдоль рядов откачных скважин. Это потери урана в твердой фазе. Целики также выявляются геотехнологическим моделированием. На этом этапе отработки рудной залежи (**рис. 3а**) продолжать выщелачивание в обычном режиме невыгодно, так как серная кислота расходуется на песчаные отложения, из которых уран уже выщелочен. В этом случае доказана целесообразность перехода от традиционной рядной системы отработки на однорядную систему с чередованием откачных и закачных скважин в откачном ряду. Реализация этого технического решения дала возможность полностью отработать целик при минимальных затратах серной кислоты (**рис. 3б**) и снизить потери урана в останце.

Экономический эффект от использования такого комплекса очевиден.

Разубоживание. При СПВ разубоживание обычно встречается в трех случаях: 1) при вскрытии технологическими скважинами забалансовых или «пустых» безрудных песчаных отложений; 2) при несбалансированности откачиваемых и закачиваемых растворов, когда дебит откачных скважин выше производительности закачных скважин и происходит приток законтурных подземных вод; 3) при нарушении герметичности обсадных колонн откачных скважин.

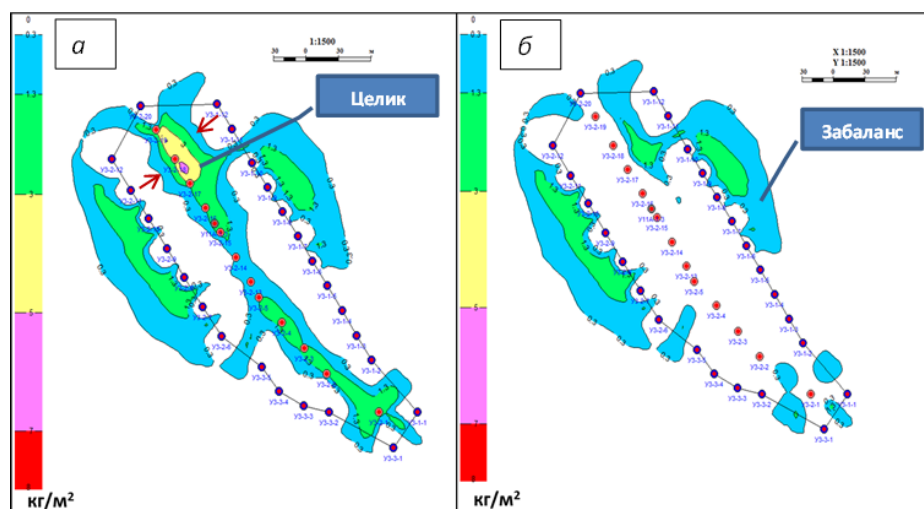


Рисунок 3. Устранение потерь урана в останце (а) и отработка целика однорядной системой (б).

Изолиниями показана остаточная продуктивность урана в кг U/m²

Разубоживание урана в ПР первого типа устранено внедрением автоматизированной системы проектирования (САПР ПВ) отработки эксплуатационных блоков, участков СПВ и залежей.

Второй тип разубоживания урана в продуктивных растворах устраняется с помощью постоянно действующей геотехнологической модели добычного комплекса.

Третий тип разубоживания связан с плохим техническим состоянием откачных (разгрузочных) скважин. Решение этой проблемы путем повышения надежности конструкции технологических скважин рассмотрено в предыдущих разделах.

Применение новых технологий, включая КНД-М, позволяет в значительной степени устранять сверхнормативные потери урана и минимизировать разубоживание урана в ПР.

Приложение Ж

Акты внедрения технологий в производство, разработанных в рамках
выполнения диссертационной работы

ОАО «Хиагда»
671510, РФ, Республика Бурятия, Баунтовский район, с. Багдарин
Почтовый адрес: 672002, г. Чита, BOX 02086
referent@hiagda.ru, www.khiagda.armz.ru
+7(3022) 35-47-61

АКТ

О внедрении в действие изменение схемы вскрытия Хиагдинского месторождения, а так же результатов НИОКР выполненных ФГБОУ ВПО СТИ НИЯУ МИФИ по теме: «Выбор оптимальных схем вскрытия рудных залежей и разработка графика производства продукции с вскрываемых блоков и участков ПВ на основе разработанного пакета компьютерных программ»

В целях оптимизации технологии подземного выщелачивания, сокращения операционных затрат и срока отработки эксплуатационных блоков

Ввести в действие в ОАО «Хиагда» с 30 ноября 2013 г.:

1. Результаты НИОКР по выбору оптимальных схем вскрытия рудных залежей и разработке графика производства продукции с вскрываемых блоков и участков ПВ на основе разработанного пакета компьютерных программ.
2. Начальнику ПТО и главному геологу в срок до 01 декабря 2013г реализовать бурение технологических скважин по рекомендованной схеме вскрытия, произвести обвязку технологических скважин.

Директор по производству

В.П.Савинов



хиагда

Акционерное общество «Хиагда»

Приказ

11.02.2015

№ 098/20-17

г. Чита

**О вводе в режиме опытной эксплуатации информационной системы
добычного комплекса**

В целях внедрения современных информационных систем и повышения эффективности работы добычного комплекса

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Начать эксплуатацию информационной системы добычного комплекса в режиме опытной эксплуатации
2. Ввести в действие Регламент применения информационной системы добычного комплекса (далее – Регламент).
3. Начальникам подразделений, участвующих в функционировании информационной системы добычного комплекса согласно Регламенту
 - 3.1. ознакомить персонал, задействованный в эксплуатации информации добычного комплекса, с Регламентом и настоящим приказом
 - 3.2. при необходимости провести обучение персонала работе с соответствующими модулями информационной системы
 - 3.3. обеспечить ежедневный ввод информации в информационную систему добычного комплекса в соответствии с Регламентом
4. Специалистам, ответственным за контроль вводимых данных в соответствии с Регламентом, ежедневно осуществлять контроль полноты и корректности вводимых данных
5. Контроль исполнения приказа возложить на директора по производству – начальника цеха ПВ Гонгара Е.И.

Приложения: «Регламент применения информационной системы добычного комплекса» на 8 л. в 1 экз.

Генеральный директор

А.А. Дементьев

Исп.: Макшанинов В.В.
Тел.: 9244782140



хиагда

Акционерное общество «Хиагда»

Приказ

26.12.2016

г. Чита

№ 098/434-П

О вводе в режиме постоянной эксплуатации информационной системы
добычного комплекса

В целях внедрения современных информационных систем и повышения
эффективности работы добычного комплекса

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Ввести в постоянную эксплуатацию информационную систему добычного комплекса
2. Ввести в действие Регламент применения информационной системы добычного комплекса (далее – Регламент).
3. Начальникам подразделений, участвующих во вводе первичных данных в информационную систему добычного комплекса, обеспечить ежедневный ввод информации в информационную систему добычного комплекса в соответствии с Регламентом
4. Специалистам, ответственным за контроль вводимых данных в соответствии с Регламентом, ежедневно осуществлять контроль полноты и корректности вводимых данных
5. Специалистам отдела информационных технологий обеспечить доступ к экспертно-аналитической программе TechView всем сотрудникам производственного блока и, по заявкам, другим заинтересованным сотрудникам АО «Хиагда».
6. Контроль исполнения настоящего приказа возложить на директора по производству Гладышева А.В.

Генеральный директор

А.Б. Глотов

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

**ВНИИА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

«ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ
ИМ. Н.П. ДУХОВА»

АКТ
об использовании полезной модели
№ АТ 0563/100-2015

Служебная полезная модель «Узел скважинного генератора нейтронов для каротажа урановых руд» (Регистрационный номер патента: 152266 с приоритетом от 25.12.2014г.), использована в соответствии с формулой в конструкторской документации на монитор ТСП183.060, изготовленный в собственном производстве ФГУП «ВНИИА» в составе скважинного прибора аппаратурно-методического комплекса ТАИНК183.

Зам. главного конструктора -
начальник научно-
исследовательского отделения




 В.И. Рыжков

Зам. начальника научно-
исследовательского отдела –
начальник научно-
исследовательской лаборатории

 И.А. Титов

25.11.15

Вед. специалист по тематике
каротажной аппаратуры

 К.Г. Клигер

25.11.2015

АО «РУСБУРМАШ»

ИНН/КПП 7713190205

Адрес местонахождения:

109004, г. Москва, Большой Дровяной пер., д.22

Распоряжение о вводе в эксплуатацию объекта основных средств№ 0000000757 от 01.06.2015

В связи с получением свидетельства об аттестации методики измерений № 634/210-(01.00250) – 2015 на аппаратуру импульсного нейтронного каротажа АИНК – 49, ввести в эксплуатацию

Аппаратура импульсного нейтронного каротажа АИНК-49

(наименование)

Заводской номер 5591487

Дата выпуска «01» 01 2015 г

Временное хранение на складе ООО «УГФ» согласно накладной 2011 от 29.05.2014г. по адресу 141102, Россия, Московская область, г. Щелково, ул. Металлоконструкций, д.3.
(подразделение)

1. Ввести объект в эксплуатацию с «___» мая 2015 г. с первоначальной стоимостью 14 761 797,05 руб.
2. Присвоить объекту инвентарный номер 00000757
3. Отнести основное средство к 5 группе по «Классификатору основных средств, включаемых в амортизационные группы».
4. Установить срок полезного использования основного средства 120 мес.
5. Начисление амортизации начать с «01» июня 2015 г.
6. Учет вести по мероприятию «Разработка аппаратурно - методического комплекса»
7. Код по ОКОФ 14 331 5380
8. Материально ответственным лицом назначить Пахомова В. А.
И. о. генерального директора Сурвилло В. Г.

Председатель комиссии:

Директор филиала в г. Иркутск
(должность)

(подпись)

Ульбин Д. В.

(расшифровка подписи)

Комиссия в составе:

Бухгалтер
(должность)

(подпись)

Мартемьянова Л. Н.
(расшифровка подписи)Ведущий специалист
По инвестициям

(должность)

(подпись)

Молчанов И.С.

(расшифровка подписи)

Ведущий специалист
По орг. пр-ва
(должность)

(подпись)

Доржиев Б. В.

(расшифровка подписи)

АО «РУСБУРМАШ»

ИНН/КПП 7713190205

Адрес местонахождения:

109004, г. Москва, Большой Дровяной пер., д.22

Распоряжение о вводе в эксплуатацию объекта основных средств№ Распоряжение 12 от 02.06.15г.

В связи с получением свидетельства об аттестации методики измерений № 634/210-(01.00250) – 2015 на аппаратуру импульсного нейтронного каротажа АИНК – 49, ввести в эксплуатацию

Аппаратура импульсного нейтронного каротажа АИНК-49

(наименование)

Заводской номер 5591488

Дата выпуска «01» 01 2015 г

Временное хранение на складе ООО «УГФ» согласно накладной 2011 от 29.05.2014г. по адресу 141102, Россия, Московская область, г. Щелково, ул. Металлоконструкций, д.3.
(подразделение)

1. Ввести объект в эксплуатацию с «___» мая 2015 г. с первоначальной стоимостью 14 761 797,04 руб.
 2. Присвоить объекту инвентарный номер 0000 756
 3. Отнести основное средство к 5 группе по «Классификатору основных средств, включаемых в амортизационные группы».
 4. Установить срок полезного использования основного средства 120 мес.
 5. Начисление амортизации начать с «01» июня 2015 г.
 6. Учет вести по мероприятию «Разработка аппаратурно - методического комплекса»
 7. Код по ОКОФ 14 331 5380
 8. Материально ответственным лицом назначить Пахомова В. А.
- И. о. генерального директора Сурвилло В. Г.

Председатель комиссии:

Директор филиала в г. Иркутск
(должность)

(подпись)

Улыбин Д. В.

(расшифровка подписи)

Комиссия в составе:

Бухгалтер

(должность)

(подпись)

Мартемьянова Л. Н.

(расшифровка подписи)

Ведущий специалист

По инвестициям

(должность)

(подпись)

Молчанов И.С.

(расшифровка подписи)

Ведущий специалист

По орг. пр-ва

(должность)

(подпись)

Доржиев Б. В.

(расшифровка подписи)