

Нужно отметить, что содалит и нефелин приурочены к лейкократовым участкам амфиболитов, которые обрамляются темноцветной роговой обманкой, близкой по составу к гастингситу, и биотитом (табл. 3). Последний минерал обнаружен в данной ассоциации. Можно констатировать, что на месторождении присутствуют два вида темных слюд: флогопит и биотит. Здесь же установлены агрегаты грязно-зеленого хлорита в форме сферических кристаллов до 3 мм в диаметре. Они не содержат ни магния, ни железа и имеют высокие содержания натрия, до 9,8 масс. % (табл. 3).

Выводы

В музольской серии обнаружен новый щелочной минерал содалит, составляющий ассоциацию с нефелином, альбитом, калиевым полевым шпатом, а также присутствие двух темных слюд: биотита и флогопита. Эта ассоциация подтверждает участие в образовании месторождения высокощелочных магматических пород. Их реликты установлены. Территория месторождения скаполита Черногорское осложнена новой для кукуртского комплекса ультраосновной породой — гарцбургитом. Эта порода вместе с реликтами высокощелочных пород свидетельствует, что предыдущие представления о его генезисе [5, 6, 8] могут быть пересмотрены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатов, Б.П. Тектоника Памира / Б.П. Бархатов. — Л.: ЛГУ, 1963. — 241 с.
2. Буданова, К.Т. Метаморфические формации Таджикистана / К.Т. Буданова. — Душанбе: Дониш, 1991. — 336 с.
3. Дир, У.А. Породообразующие минералы / У.А. Дир, Р.А. Хауи, Дж. Зусман. — М.: Мир, 1966. — Т. 4. — 479 с.
4. Дмитриев, Э.А. Физико-химические условия образования нефелина в габброидных породах Восточного Памира / Э.А. Дмитриев, Г.А. Злобин // Докл. АН Тадж. ССР. — 1976. — Т. XIX. — С. 38–42.
5. Дмитриев, Э.А. Минералогия ювелирных скаполитов Восточного Памира / Э.А. Дмитриев, А.М. Скригитиль // Докл. АН Тадж. ССР. — 1982. — Т. XXV. — № 10. — С. 612–614.
6. Дюфур, М.С. Метасоматиты кукуртского месторождения ювелирных скаполитов (Восточный Памир) / М.С. Дюфур, М.С. Порицкий, Н.В. Котов // Геология и геофизика. — 1994. — Т. 35. — № 2. — С. 91–95.
7. Дмитриев, Э.А. Кукуртский комплекс / Э.А. Дмитриев // Петрология и геохимия магматических формаций Памира и Гиссаро-Алая — 1978. — С. 84–87.
8. Курилин, Е.Н. Скаполит месторождения Кукурт / Е.Н. Курилин // Геология, поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. — Душанбе, 1987. — С. 32–34.
9. Литвиненко, А.К. Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов / А.К. Литвиненко // Геология рудных месторождений. — 2004. — Т. 46. — № 4. — С. 305–312.
10. Литвиненко, А.К. Минерагения драгоценных камней Нуристан-Южнопамирской провинции / А.К. Литвиненко // Berlin. Palmarium academic publishing. — 290 с.
11. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. — Душанбе: Дониш, 1976. — 207 с.

© Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А., Малахов Ф.А., 2019

Литвиненко Андрей Кимович // ak11954@yandex.ru
Одинаев Шарифджон Ахтамжонович // sharif.geolog@mail.ru
Малахов Фируз Абдуллохонович // malahov75@mail.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК: 550.832.5

Миносьянц А.Р.¹, Солодов И.Н.², Гурулев Е.А.³ (1 — АО «Русбурмаш», 2 — АО «Атомредметзолото», 3 — АО «Хиагда»)

ПРИМЕНЕНИЕ КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОСВОЕНИЯ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ СПВ

Приводится описание новой модификации аппаратно-методического комплекса каротажа мгновенных нейтронов деления (АМК КНД-М в модификации АИНК-49), превосходящего по ряду параметров зарубежные аналоги. Приведены примеры использования данного ядерно-геофизического метода для изучения радиологических и рудных (С, m, mC) параметров на залежи В1 месторождения Вершинное на стадии вскрытия запасов технологическими скважинами и стадии отработки залежей X3 и X5 месторождения Хиагдинское. На стадии горно-подготовительных работ АИНК-49 позволяет уточнить параметры урановых руд, установленные на стадии разведки, а в период отработки рудных залежей предоставляет возможность оценить количество остаточного и переотложенного урана в рудоносном горизонте. **Ключе-**

вые слова: скважинное подземное выщелачивание (СПВ), скважина, гамма-каротаж, геологическое опробование, каротаж мгновенных нейтронов деления, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж.

Minosyantz A.R.¹, Solodov I.N.², Gurulev E.A.³ (1 — Rusburmash, 2 — Atomredmedzoloto, 3 — Khiagda)

APPLICATION OF INSTANTANEOUS FISSION NEUTRON LOGGING AT DIFFERENT STAGES OF ISL URANIUM MINING

A description of a new modification of apparatus-and-method complex of instantaneous fission neutron logging (AMC KND-M in AINK-49 modification) which exceeds foreign analogues in a number of parameters is given. Examples of application of this nuclear-geophysical method for studying radiological and ore (C, m, mC) parameters on the B1 deposit of the Vershinnoye field at the stage of technological wells drilling and on the X3 and X5 deposits of the Khiagdin-skoe field at the development stage are considered. At the stage of mining preparatory work, AINK-49 allows to clarify the parameters of uranium ores established at the exploration stage, and at the stage of ore deposits development it provides an opportunity to estimate the amount of residual and re-deposited uranium in the ore-bearing horizon. **Keywords:** in

situ leaching (ISL), well, gamma logging, geological testing, instantaneous fission neutrons logging, pulsed neutron-neutron logging.

Предпосылки создания новой модификации АМК КНД-М (АИНК-49). Одна из причин — техническая, связанная с неудовлетворительными характеристиками предыдущей модели АИНК-60: большой внешний диаметр скважинного прибора — 60 мм; ограниченный ресурс работы генератора нейтронов — 30 час.; большие погрешности при определении содержания урана из-за отсутствия возможности учета влияния природной изменчивости влажности руд. Фактически АИНК-60 позволяет выполнять по существу качественное, а не количественное определение массовой доли урана в недрах.

Еще одна причина, сыгравшая немаловажную роль в создании АМК КНД-М, — сложные радиологические условия на гидрогенных месторождениях Зауральского района (Далматовское и Хохловское) и Хиагдинского рудного поля, вносящие существенные погрешности при оценке запасов урана традиционным методом гамма-каротажа.

Специфическая радиологическая обстановка на месторождениях Далматовское и Хохловское обусловлена повышенной миграционной способностью радия в природных подземных водах из-за безсульфатного характера их минерализации. Радиоактивность природных подземных вод в рудоносных водоносных горизонтах находится на уровне 60 Бк/л. Из-за этого возможно появление радиевых безурановых ореолов и урановых безрадиевых зон.

Интенсивная тектоническая нарушенность, проявленная многочисленными разломами и зонами трещиноватости в скальном основании осадочных рудоносных отложений на месторождениях Хиагдинского рудного поля, может являться проводником восходящих очаговых потоков радона из гранитов витимканского комплекса [3, 4, 10]. Этот радон, не связанный непосредственно с ураново-рудной минерализацией, может существенно исказить запасы урана при их оценке методом гамма-каротажа (ГК) в рудных зонах, примыкающих к тектоническим нарушениям.

В связи с этим по инициативе специалистов АО «Атомредметзолото» и АО «Русбурмаш» было принято решение о разработке аппаратуры нового поколения ядерно-физического метода прямого определения урана в рудах гидрогенных месторождений урана, обрабатываемых скважинным подземным выщелачиванием (СПВ). Для решения этой задачи были привлечены ведущие российские предприятия: ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ВНИИА), «Всероссийский научно-исследовательский институт геологических, геофизических и геохимических систем» (ФГУП ГНЦ «ВНИИгеосистем»), ФГУ НПП «Геологоразведка» и ООО «НПФ УГФ». В результате создан аппаратно-методический комплекс карота-

жа мгновенных нейтронов деления — АМК КНД-М (АИНК-49), обладающий уникальными характеристиками.

АИНК-49 предназначен для определения мощности и массовой доли урана в уранорудных интервалах методом каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М). Двухзондовая конструкция скважинного прибора АИНК-49 также предоставляет возможность литологического расчленения разреза, попластового определения влажности методом импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) на тепловых нейтронах и проведения гамма-каротажа (ГК).

Преимущества АИНК-49 по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами следующие:

— диаметр скважинного прибора снижен до 49 мм, что предоставляет возможность его применения в скважинах малого диаметра (> 60 мм);

— значительно увеличенный (до 200 час.) ресурс работы нейтронного генератора ИНГ-12–50–100БТ, который близок к лучшим показателям зарубежных аналогов.

Применение АИНК-49 позволяет существенно повысить точность определения параметров урановорудных интервалов (m , C и mC) и обеспечить выполнение требований ФБУ ГКЗ к количественным методам каротажа даже в самых сложных радиологических условиях.

Весь процесс измерений в АИНК-49 как при выполнении каротажа, так и при выполнении градуировочных работ автоматизирован и выполняется под управлением специально разработанного программного обеспечения.

Основные преимущества применения АИНК-49 на различных стадиях освоения гидрогенных месторождений урана. Метод КНД-М, реализованный в АИНК-49, применим на всех стадиях освоения гидрогенных месторождений урана. Теоретические основы каротажа методом мгновенных нейтронов деления изложены в монографии [5].

На стадии разведки и вскрытия рудных залежей технологическими скважинами КНД-М обладает следующими преимуществами по сравнению с традиционными методами гамма-каротажа и геологического опробования керна:

1. При прямом определении урана методом КНД-М исключаются погрешности при оценке запасов урана, характерные для ГК и связанные с нарушением U-Ra и Ra-Rn радиоактивного равновесия [5], что будет далее продемонстрировано конкретными примерами.

2. При использовании КНД-М в некоторых случаях может быть сокращен объем геологического опробования керна, химико-аналитических и радиометрических определений урана, радия, калия и тория. В этом случае керновое опробование может быть использовано выборочно только для заверки результатов КНД-М.

На стадии обработки рудных залежей метод КНД-М может весьма эффективно применяться для контроля процесса выщелачивания урана в недрах с использо-

ванием мониторинга в существующих наблюдательных скважинах, а также для оценки линейных запасов урана при добурировании новых и перебурировании аварийных технологических скважин. На этом этапе КНД-М позволяет выявлять остаточный уран, неотработанные целики и техногенно переотложенный уран в условиях техногенно-измененной радиологической обстановки, когда метод ГК не применим.

На стадии ликвидации полигонов СПВ использование КНД-М дает возможность исключить керновое бурение и дорогостоящие сопутствующие работы по документации, опробованию и лабораторным исследованиям керна контрольных скважин. Бурение контрольных скважин с керном в условиях закисленных рудоносных осадочных отложений крайне сложная задача, и, как правило, не позволяет обеспечить высокий выход кондиционного керна из-за приобретения песком плавучих свойств.

Инструкции, метрология, сертификация измерительных средств и защита прав на результаты интеллектуальной деятельности. Опытные образцы АМК КНД-М разработаны и изготовлены ФГУП «ВНИИА» в 2011–2012 гг. В 2013 г. по результатам опытно-промышленных испытаний комплекс прошел метрологическую аттестацию в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург) и утвержден в качестве типа средств измерений с внесением в Государственный Реестр РФ. Федеральным Агентством по техническому регулированию и метрологии выдано свидетельство об утверждении типа средства измерения — RU.C.38.001AN № 53794.

Специалистами ФГУ НПП «Геологоразведка» разработана методика измерений [1], аттестованная по ГОСТ Р 8.563–2009 и ГОСТ 8.010–2013 (свидетельство об аттестации № 634/210-(01.00250)-2015 выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»).

На узел скважинного генератора нейтронов для каротажа урановых руд 16.04.2015 получен Патент на полезную модель № 152266 (патентообладатели — ФГУП «ВНИИА» и АО «Русбурмаш»).

Применение КНД-М на стадии вскрытия запасов технологическими скважинами. Исследования на стадии горно-подготовительных работ проведены на месторождении Вершинное Хиагдинского рудного поля, которое является частью Витимского урановорудного района [6]. Геологическое строение, гидрогеологические условия, литология, минеральный состав руд и рудовмещающих отложений, а также условия формирования гидрогенных месторождений «витимского» типа освещены в статьях [8, 9].

Ядерно-геофизические исследования в 2017–2018 гг. выполнены при вскрытии запасов технологическими скважинами в верховье (Блок В1.12) и нижней части (Блок В1.3) палеорусловых проницаемых отложений, вмещающих рудную Залежь В1.

Исследования проведены 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, являющегося основой подсчета запасов урана; определения суммарной линейной продуктивности урановорудных интервалов по исследованным скважинам.

На Блоке В1.12 (верховье палеорусла) по материалам разведочных работ были установлены высокие случайные расхождения мощности рудных интервалов между данными ГК и геологического опробования керна (ГО). На блоке В1.3 (приразломная часть залежи в низовье палеорусла) на стадии детальной разведки установлено аномально высокое влияние эффекта «отжатия» радона на результаты ГК.

Результаты КНД-М на блоке В1.12. Исследования методом КНД-М проведены в 7 технологических скважинах. Интерпретация ГК выполнялась с применением поправочных коэффициентов $K_{pp}=1$ и $P_{Rn}=1,1$, принятых для всего месторождения Вершинное по результатам разведочных работ. Оценки статистических показателей, характеризующих погрешности параметров рудных интервалов, установленных методом ГК на основе сопоставления с контрольным методом КНД-М, полученные по выборке из 14 рудных интервалов, следующие:

- 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 между ГК и КНД-М составляют ± 35 % (допустимое значение ± 25 %);

- оценка комплексной поправки Пк, учитывающей K_{pp} и P_{Rn} по данным ГК (Ra) и КНД-М (U) равна 1,13.

Близкие результаты были получены при сопоставлении результатов ГК с данными геологического опробования керна (ГО) скважин разведочных линий РЛ 85 и РЛ-87, расположенных в районе блока В1.12. 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 Пк по данным керна опробования составляет 1,17.

На рис. 1 приведены диаграммы распределения урана по стволу скважины, полученные методами ГК и КНД-М. Как видно по скважине В1.11.23 по параметру mC различий не отмечается, тогда как по скважине В1.11.47 гамма-каротаж завышает этот параметр на 23 %.

Суммарная удельная площадная продуктивность по всем изученным скважинам Блока В1.12 по ГК равна 90,66 кг/м², а по КНД-М — 84,24 кг/м², расхождение в суммарной удельной площадной продуктивности не превышает 7,5 % и по критерию Стьюдента не является статистически значимым.

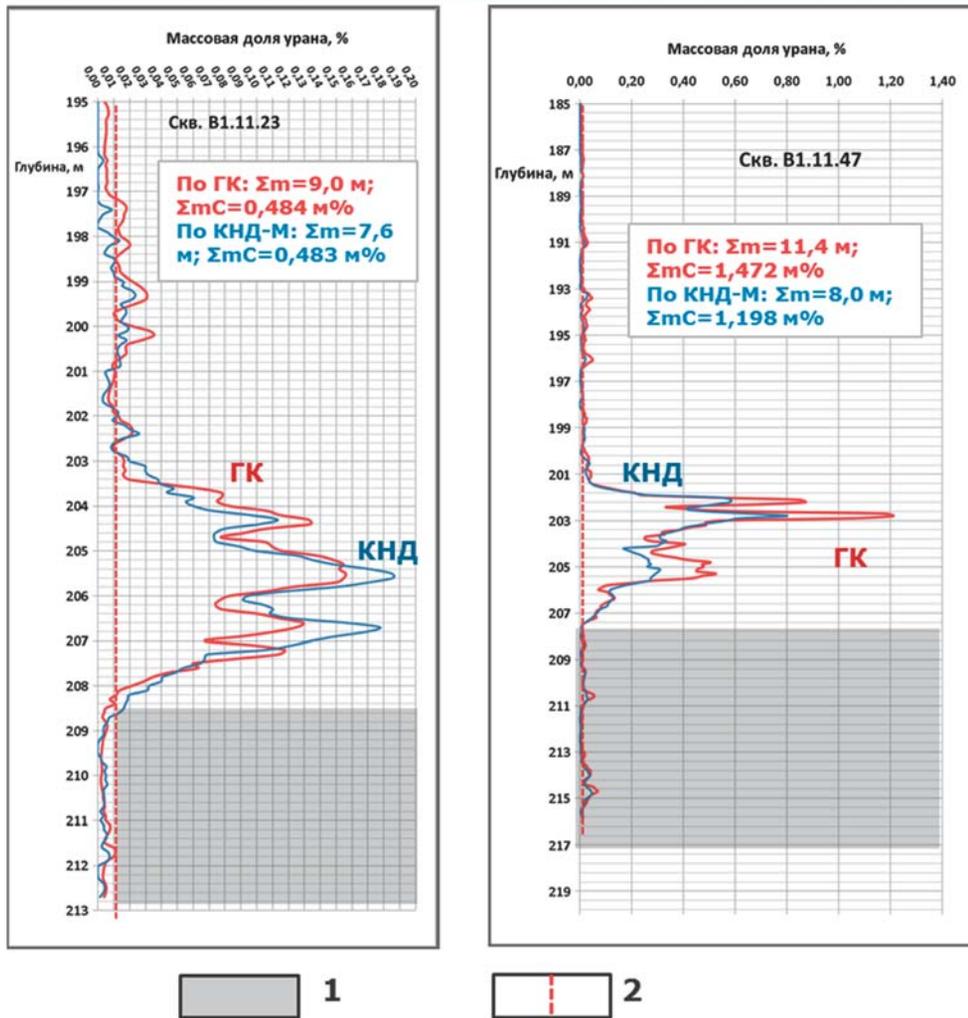


Рис. 1. Сопоставление диаграмм распределения в разрезе содержаний урана по данным гамма-каротажа (ГК) и каротажа нейтронов мгновенного деления (КНД) по скважинам блока В1.12, расположенным в верховье палеодолины: 1 — породы кристаллического фундамента; 2 — бортовое содержание $U=0,01$ %

На данном блоке применение принятых для всего месторождения поправок $K_{pp}=1$ и $PRn=1,1$ при интерпретации ГК не приводит к существенному расхождению суммарной удельной продуктивности участка рудной залежи по отношению к контрольному методу КНД-М. Основным недостатком ГК для исследованного блока В1.12 являются высокие случайные расхождения в оценке мощности рудных интервалов.

Результаты КНД-М на Блоке В1.3 (КНД-М выполнено в 18 скважинах). Совершенно иная картина наблюдается по скважинам, примыкающим к зоне Хиагдинского разлома. По скважинам на рис. 2 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 %.

Характерной особенностью этого блока является значительное занижение линейной продуктивности большинства скважин по методу ГК относительно КНД-М. Как будет показано далее, такое расхождение преимущественно связано с недооценкой фактора «отжата» радона [5] при интерпретации результатов ГК.

Для иллюстрации этого эффекта на рис. 3 приведены результаты режимных наблюдений методом ГК за интенсивностью гамма-излучения по стволу скважин. Первое наблюдение выполнено по открытому стволу скважины непосредственно после ее проходки, а последующие контрольные каротажы через 33 и 54 дня после сооружения и освоения скважины, когда равновесие между Ra и Rn должно было быть восстановлено. Степень расхождения графиков интенсивности гамма-излучения характеризует масштаб проявления эффекта «отжата» радона. Установлены различные варианты проявления эффекта «отжата» Rn . Наиболее типичные из них следующие (рис. 3):

- в скважине В1.3.5. влияние «отжата» радона при бурении минимальное, контрольная диаграмма ГК, полученная через 33 дня, близка к диаграмме ГК, полученной непосредственно после завершения бурения скважины;

- в скважине В1.2.19 сильное влияние «отжата»

радона наблюдается практически по всей мощности гамма-аномалии;

- в скважине В1.3.19, расположенной вблизи зоны разлома, диаграммы иллюстрируют сильное проявление эффекта «отжата» радона. При этом $Ra-Rn$ равновесие в рудовмещающих осадочных породах продуктивного горизонта практически полностью восстановлено через 31 день, а в безрудных породах фундамента наблюдается отсутствие восстановления $Ra-Rn$ равновесия даже через 54 дня, что может указывать на появление радона, не связанного с урановым интервалом, а мигрирующего из зоны разлома в верхней части фундамента с повышенной трещиноватостью.

Нарушение $Ra-Rn$ равновесия зависит от большого числа техногенных и природных факторов и практически не контролируемо. Такие вариации нарушения равновесия неизбежно приводят к высоким случайным погрешностям в определении параметров рудных интервалов методом ГК.

Естественно, что полученные после выстойки результаты контрольных измерений методом ГК носят

иллюстративный характер и не могут быть использованы для количественной оценки поправки на «отжате» радона. Это связано с тем, что измерения выполнялись в технологических скважинах, оборудованных фильтрами, что создавало условия для проникновения радона внутрь фильтровой колонны с водами продуктивного горизонта. На полученные результаты повлияло также и то, что наблюдения выполнялись на блоке в период интенсивного сооружения и освоения технологических скважин несколькими буровыми установками, т.е. контрольные измерения выполнялись в незамкнутой системе с сильным воздействием техногенных факторов, препятствующих естественному восстановлению равновесия системы Ra-Rn.

Но очевидно, что значимость влияния этого фактора на результаты ГК достаточно высока и игнорировать его нельзя.

Сопоставление результатов интерпретации данных первичного и контрольного ГК для выборки из 23

скважин, в которых были проведены контрольные наблюдения методом ГК показало, что после выстойки значение прессованной суммарной мощности рудных интервалов возросло с 125,7 до 215 м, а значение суммарного прессованного метропроцента увеличилось с 4,17 м % до 8,87 м %.

Для количественной оценки основных радиологических характеристик проницаемых осадков продуктивного горизонта блока В1.3 проанализированы материалы разведки по разведочным линиям РЛ64 и РЛ66, пересекающим Блок В1.3 в приразломной части Залежи В1. Результаты определения K_{pp} и P_{Rn} по кондиционно-опробованным рудным интервалам восьми разведочных скважин РЛ64–66 приведены в таблице.

Оценка комплексной поправки $PK_{ГО} = P_{Rn} / K_{pp}$ в этом случае составила 1,59.

Оценка комплексной поправки $PK_{ГИС}$, полученная по результатам геофизических исследований методами ГК и КНД-М для выборки из 51 рудного интервала

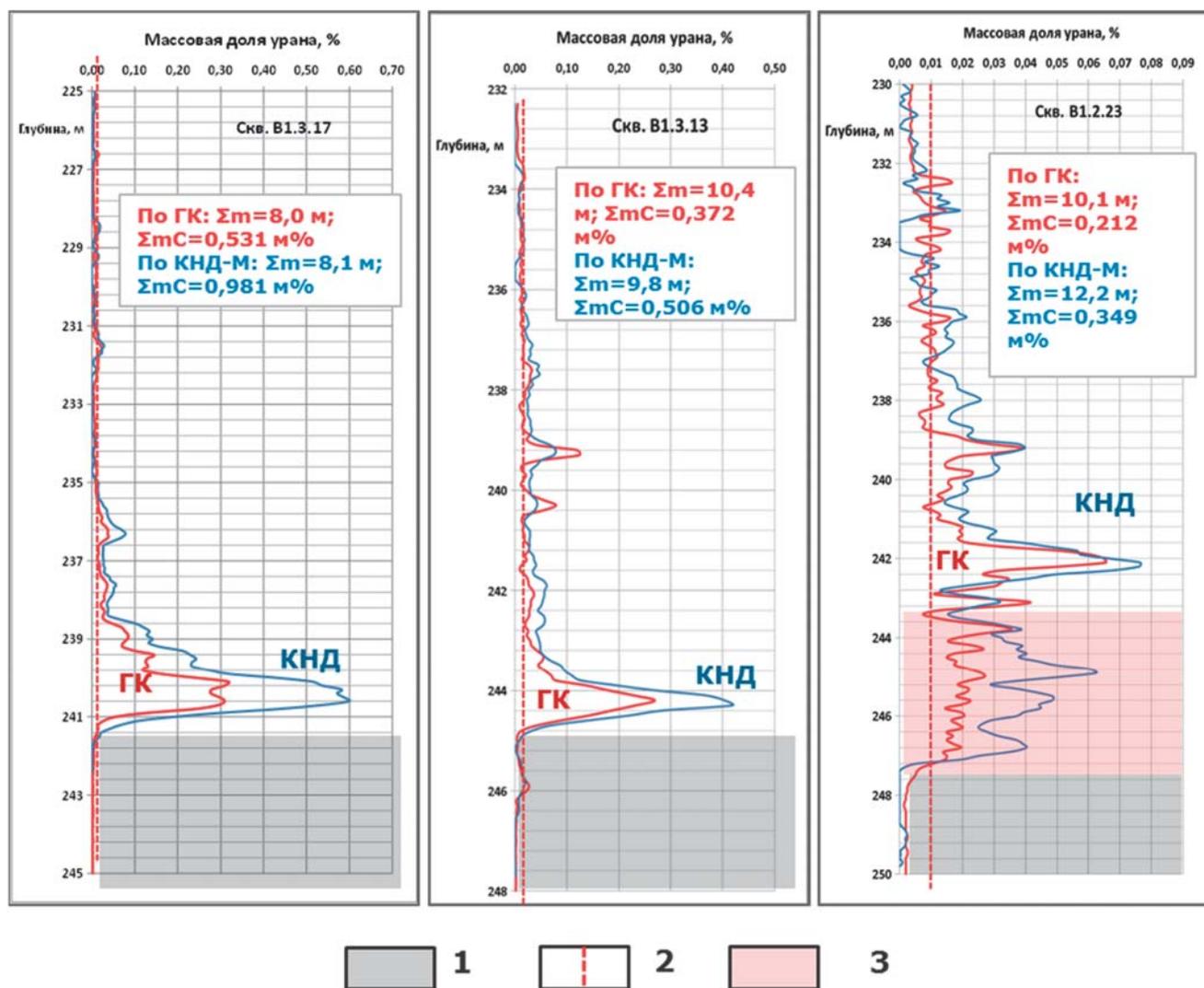


Рис. 2. Сопоставление диаграмм распределения в разрезе содержаний урана по данным гамма-каротажа (ГК) и каротажа нейтронов мгновенного деления (КНД) по скважинам блока В1.3, расположенным в приразломной части низовья палеорула Залежи В1: 1 — породы кристаллического фундамента; 2 — бортовое содержание $U=0,01\%$; 3 — зона максимального расхождения данных ГК и КНД

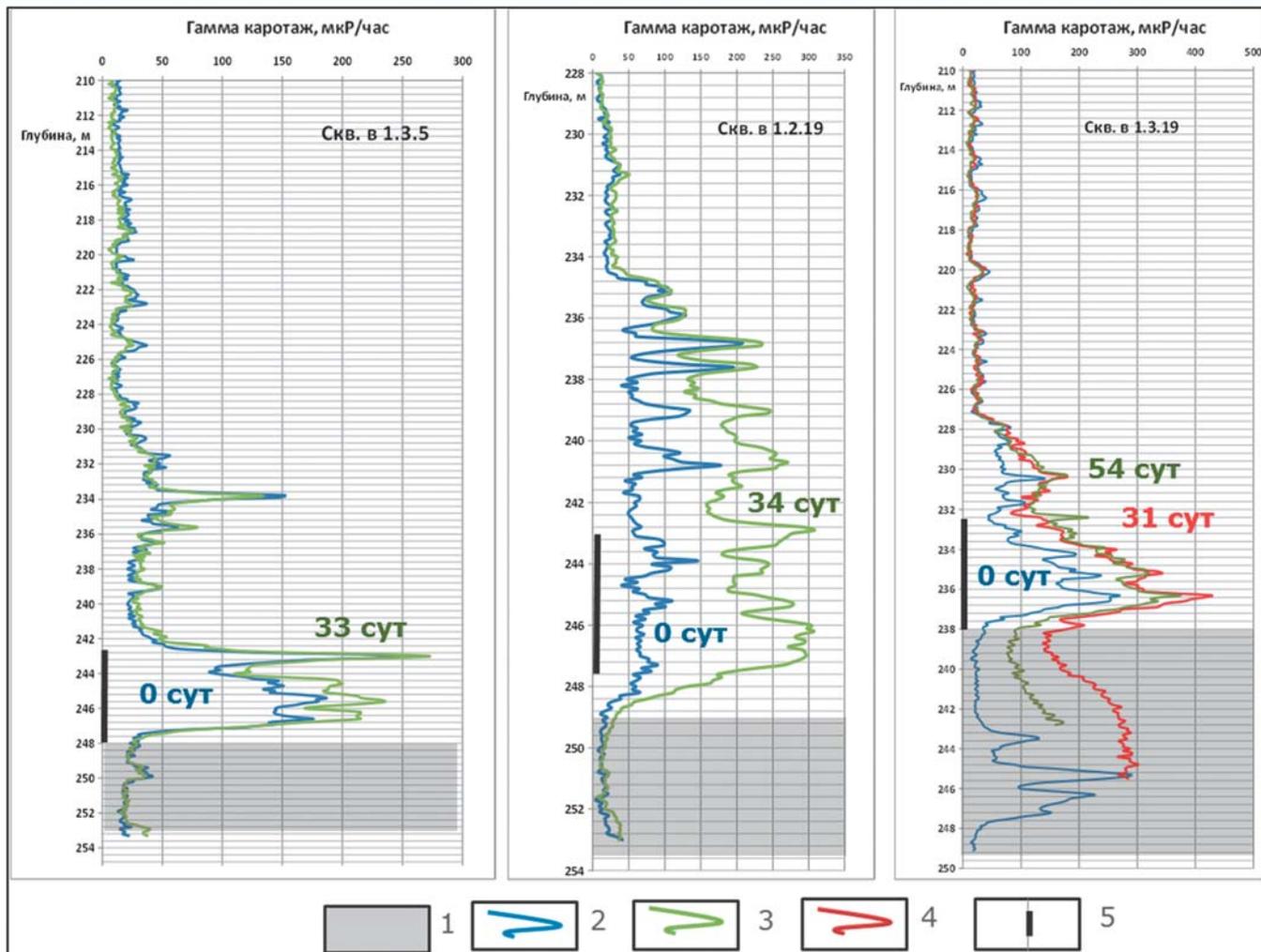


Рис. 3. Режимные наблюдения за изменением гамма-активности по стволу скважин блока В1.3 после их проходки и освоения: 1 — породы кристаллического фундамента; 2 — первичный гамма-каротаж; 3 — повторный гамма-каротаж после освоения скважины выстойки в течение 31–34 сут.; 4 — повторный каротаж через 54 дня; 5 — фильтр технологической скважины

18 технологических скважин, составляет 1,61, что практически подтверждает результаты, полученные по геологическому опробованию разведочных скважин РЛ64 и РЛ66. Расхождение не превышает 1,5 %. Учитывая, что оценка K_{pp} , полученная по результатам ГО для данного участка, составляет 0,94 расчетное значение величины поправки на «отжатию» радона по геофизическим данным составило 1,51, что практически подтверждает величину поправки на «отжатию» радона (1,49), полученную по материалам разведки для скважин РЛ64–66.

Полученная оценка поправки на «отжатию» радона для блока В1.3 существенно выше поправки, принятой для всего месторождения Вершинное и составляющей 1,1. Естественно, что применение поправки P_{Rn} равной 1,1 при интерпретации ГК для блока В1.3 приведет к существенному занижению линейной продуктивности скважин, а значительная изменчивость основных радиологических характеристик будет

служить причиной высоких случайных погрешностей в определении параметров РИ (рудных интервалов) методом ГК.

Это подтверждается вышеописанными результатами сопоставления средней продуктивности 51 рудного интервала при сравнении данных ГК и КНД-М, а также результатами сопоставления средней продуктивности 15 рудных интервалов разведочных скважин, полученных при сравнении ГК и ГО. В обоих случаях ГК дает значимое систематическое занижение средней продуктивности

Результаты определения K_{pp} и P_{Rn} по кондиционно-опробованным рудным интервалам восьми разведочных скважин РЛ64-66

Радиологическая характеристика	Диапазон изменений	Средне-взвешенное значение
Нарушение радиоактивного равновесия между U и Ra — K_{pp}	0,75–1,44	0,94
Нарушение радиоактивного равновесия между Ra и Rn, поправка на «отжатию» радона — P_{Rn}	0,92–2,34	1,49

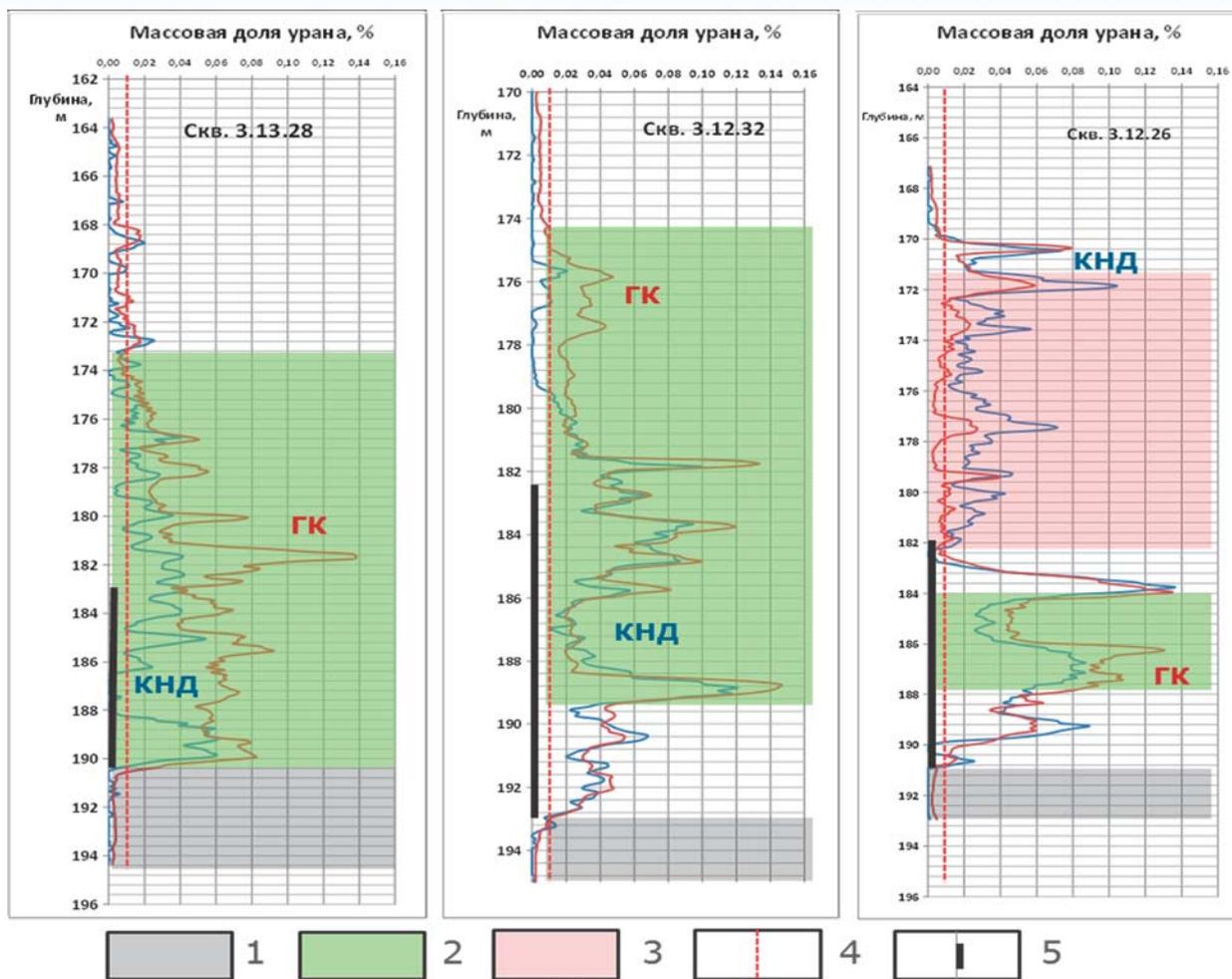


Рис. 4. Сопоставление распределения содержаний урана по данным ГК и КНД по добуренным скважинам при сгущении сети технологических скважин блоков 3.12 и 3.13 в верховьях Залежи ХЗ Хиагдинского месторождения. Блоки 3.12 и 3.13 находятся на начальной стадии отработки методом СПВ: 1 — породы кристаллического фундамента; 2 — зона выщелачивания урана; 3 — зона техногенного переотложения урана; 4 — бортовое содержание урана 0,01 %; 5 — фильтр технологической скважины

рудных интервалов на 36 % по отношению к контрольным методам (КНД-М и ГО).

Однако этот эффект, по-видимому, имеет локальное проявление, вероятно встречающееся на участках рудных залежей, примыкающих к проницаемым зонам разломов, и требует дальнейшего изучения масштаба этого явления.

Применение каротажа мгновенных нейтронов деления на стадии отработки урановых рудных залежей. Изучение перераспределения урана в процессе отработки урановой Залежи 5 Букинайского месторождения в Кызылкумском урановорудном районе по изменению величины коэффициента радиоактивного равновесия U-Ra показало, что в зоне выноса урана (полного извлечения урана из руд >80 %) $K_{рр}$ значительно смещается в сторону радия и достигает значения 190 отн.ед., а в зоне техногенного переотложения урана сдвигается в сторону U и опускается до значения $K_{рр}=0,5$ отн.ед. [7]. Этими и другими исследованиями [2] доказано, что при сернокислотном выщелачивании урана из руд извлечение радия не превышает 5 % и их гамма-активность после выщелачивания урана остается на уровне близком к исходным значениям.

Это, с одной стороны, не позволяет использовать гамма-каротаж для контроля процесса извлечения урана из руд методом СПВ, а с другой — предоставляет возможность с определенными допущениями реконструировать исходные концентрации урана при бурении контрольных и перебуривании аварийных технологических скважин. Такой методический прием реконструирования исходных концентраций урана по ГК использован в действующих блоках на Залежи ХЗ Хиагдинского месторождения.

Основной задачей использования КНД-М на действующих участках СПВ является оценка остаточного и техногенно перераспределенного урана в отложениях рудоносного горизонта, а также выявление целиков рудных тел в застойных гидродинамических зонах. Такая оценка проводится по сопоставлению результатов КНД-М с реконструированными исходными содержаниями урана в исследуемых скважинах по ГК.

На действующих Блоках Х3.12 и Х3.13, расположенных в верховьях палеорусловых отложений Залежи ХЗ, каротаж методами ГК и КНД-М выполнены в 13

дополнительно пробуренных скважинах между существующими рядами технологических скважин.

Стяжение сети технологических скважин проводилось с целью интенсификации извлечения урана из руд. Низкий темп обработки в этой части рудной залежи обусловлен слабой обводненностью, что проявляется в низкой производительности эксплуатационных ячеек (для скважин средняя производительность Q составляет 2–3 м³/ч). В связи с чем на исследованных блоках ожидалась достаточно высокая остаточная продуктивность. Результаты КНД-М подтвердили это предположение. Во всех 13 изученных скважинах установлены большие количества остаточного урана. Типичные примеры приведены на рис. 4.

Сопоставление результатов определения реконструированных по ГК концентраций урана с его содержанием по данным КНД-М показывает, что в районе скважины 3.13.28 идет умеренное извлечение урана из руд, тогда как в области скважин 3.12.32 и 3.12.26 извлечение протекает крайне слабо, а по скважине 3.12.26 даже наблюдается переотложение урана в надрудной части пласта.

Расчеты, выполненные по 9 добуренным в 2018 г. скважинам, позволили установить, что остаточная сум-

марная продуктивность в междурядье действующих технологических блоков от исходной суммарной прессованной продуктивности составляет 91 % (без учета переотложенного урана), а в зоне переотложения урана продуктивность суммарно увеличилась на 14,2 %.

На Залежи Х5 этого же месторождения для оценки остаточной продуктивности в существующих технологических скважинах использованы результаты первичного гамма-каротажа, полученного при сооружении технологических скважин до начала эксплуатации блоков. В этом случае реконструкция исходного содержания урана не требуется и достоверность оценки несколько выше. Это связано с тем, что гамма-аномалии на действующих полигонах СПВ подвержены трансформации из-за различных техногенных факторов (прежде всего из-за подвижности радона) и это отражается на достоверности получаемых реконструкций.

Результаты КНД-М, полученные в технологических скважинах Блоков 5 и 13, расположенных в центральной части Залежи Х5 Хиагдинского месторождения, иллюстрируют высокий темп обработки урановых руд (рис. 5), чему способствуют благоприятные условия, а именно — достаточная обводненность рудоносных

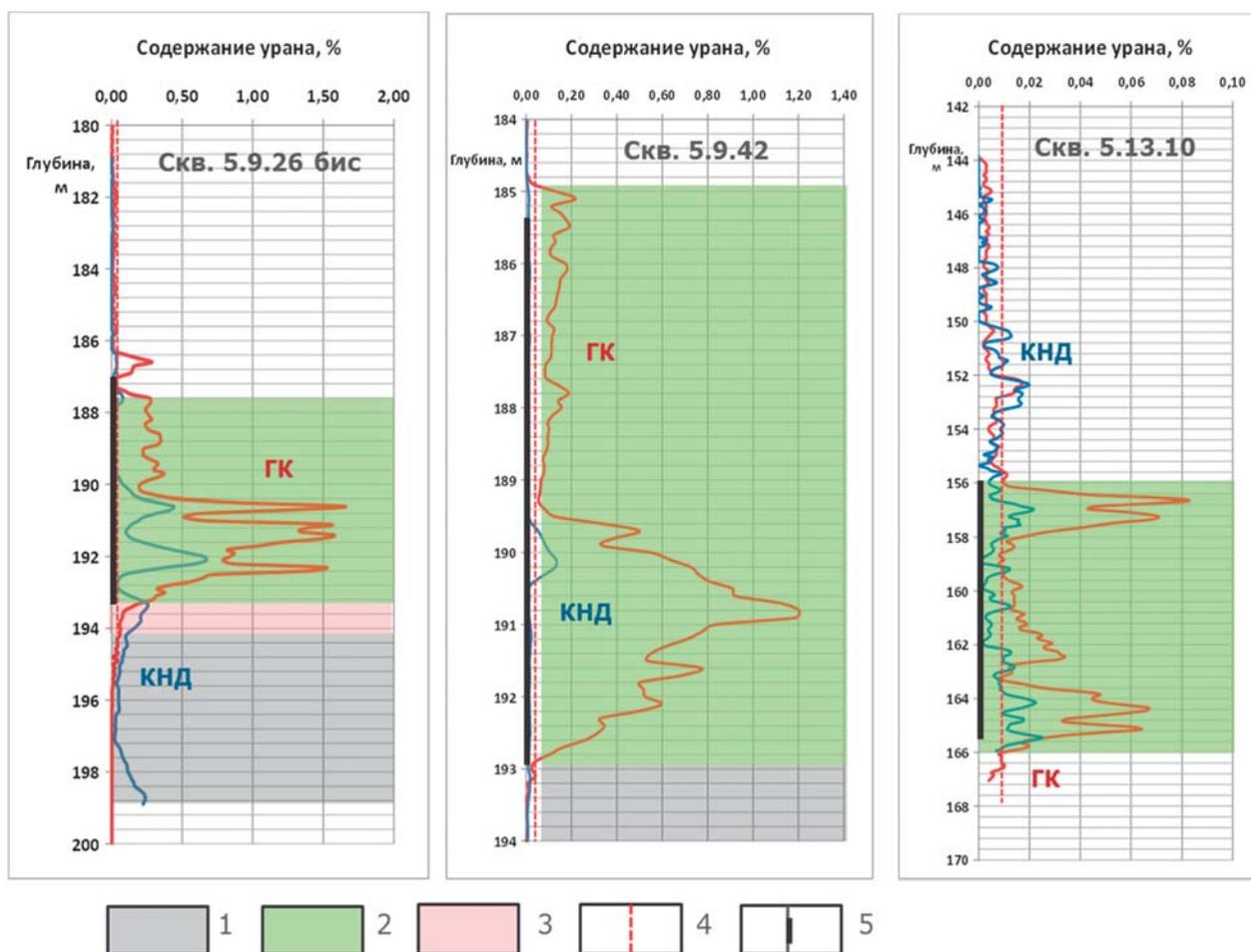


Рис. 5. Сопоставление распределения содержаний урана в разрезе по данным ГК и КНД по существующим скважинам на Залежи Х5 Хиагдинского месторождения. Блоки 5.9 и 5.13 находятся на завершающей стадии обработки методом СПВ. Условные обозначения см. на рис. 4

отложений и оптимальная сеть расположения технологических скважин ($Q = 5-6 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В районе скважин 5.9.42 и 5.13.10 процесс СПВ урана практически завершен. А в зоне действия скважины 5.9.26 находится на завершающей стадии процесса.

Выводы:

1. Каротаж методом мгновенных нейтронов деления целесообразно использовать при горно-подготовительных работах для оперативного подсчета запасов, вскрытых технологическими скважинами, а также для заверки данных ГК, полученных при разведке, в качестве контрольного метода согласно действующим нормативно-методическим инструкциям ФБУ ГКЗ.

2. Каротаж КНД-М в комплексе с ГК позволяет получать оценку основного радиологического показателя — комплексной поправки, учитывающей $K_{\text{кр}}$ и P_{Rn} сопоставимую по величине с поправкой, полученной по результатам опробования керна.

3. Метод КНД-М весьма эффективен на стадии отработки и погашения запасов при СПВ и может применяться во всех контрольных, наблюдательных и вновь сооружаемых скважинах с целью оценки остаточного и техногенно-переотложенного урана в продуктивном горизонте, а также выявлять не орабатываемые целики урановых руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления с аппаратурно-методическим комплексом АМК КНД-М (в модификации АИНК-49). — СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2014.
2. Карамушка, В.П. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд / В.П. Карамушка, У.Н. Камнев, Р.Е. Кузин. — М.: Изд-во «Горная книга», 2014. — 183 с.
3. Кочкин, Б.Т. Геохимические особенности рудовмещающей среды на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля / Б.Т. Кочкин, И.Н. Солодов, Н.И. Ганина и др. // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. — № 5. — С. 340–362.
4. Маринов, Б.Н. О возможной роли углекислых ураноносных вод в кайнозойском рудообразовании на Витимском плато (Забайкалье) / Б.Н. Маринов, А.В. Ильичев // Матер. по геол. месторождений урана. Инф. сб. КНТС. — М.: ВИМС, 1988. — Вып. 113. — С. 90–98.
5. Методы ядерно-геофизического каротажа на месторождениях урана / И.М. Хайкович, Н.А. Мац, Г.И. Ганичев. — СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2007. — 314 с.
6. Самович, Д.А. Минерально-сырьевая база Витимского урановорудного района и перспективы ее расширения / Д.А. Самович, С.А. Дзядок, С.С. Тирских, А.Ю. Федин // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 9. — С. 17–19.
7. Солодов, И.Н. Техногенные геохимические барьеры в рудоносных горизонтах гидрогенных месторождений урана / И.Н. Солодов, Г.А. Шугина, О.И. Зеленова // Геохимия. — 1994. — № 3 — С. 415–430.
8. Тарханова, Г.А. Особенности минерального состава и условия формирования руд Вершинного месторождения / Г.А. Тарханова, В.Т. Дубинчук, Н.И. Чистякова и др. // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 6. — С. 7–13.
9. Тарханова, Г.А. Генетические особенности формирования уранового оруденения витимского типа / Г.А. Тарханова, Д.А. Прохоров // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11. — С. 47–59.
10. Чернявский, М.К. Перспективы освоения минеральных вод юга Витимского плоскогорья / М.К. Чернявский // Геология Забайкалья: Матер. II всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения чл.-корр. РАН Ф.П. Кренделева (15–18 мая 2012 г., Улан-Удэ). — Улан-Удэ: Изд-во ФГБУН Бурятский научный центр, 2012. — С. 165–167.

© Миносьянц А.Р., Солодов И.Н., Гурулев Е.А., 2019

Миносьянц Александр Рубенович // Minosyantzar@rbm-armz.ru
Солодов Игорь Николаевич // INSolodov@armz.ru
Гурулев Евгений Александрович // Gurulev.E.A.@hiagda.ru

Кочукова В.А. (АО «Росгеология» «Иркутское геофизическое подразделение»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ В ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*В работе представлены инновационные методические подходы интерпретации данных электромагнитных исследований (метод зондирования поля в ближней зоне), позволяющие оперативно получать информацию по изучаемой площади, на всех этапах интерпретации. Проведенные исследования позволили успешно интегрировать электромагнитные данные ЗСБ в сейсмические пакеты обработки, что значительно упрощает процесс комплексирования геофизических данных, позволяет получать более достоверные результаты прогноза перспективных участков и повышает инвестиционную привлекательность объектов недропользования. **Ключевые слова:** электромагнитные исследования, зондирование становлением поля в ближней зоне, трансформация кривой становления поля, Сибирская платформа, нефтегазоперспективные участки, проводящие и высокоомные горизонты.*

Kochukova V.A. (Rosgeologia, Irkutsk geophysical unit)

INNOVATIVE APPROACHES TO THE INTERPRETATION OF ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS IN THE GEOELECTRICAL CONDITIONS IN THE SOUTHERN SIBERIAN PLATFORM

*The paper presents innovative methodological approaches to the interpretation of electromagnetic research data (the method of sensing the field in the near zone), allowing you to quickly obtain information on the study area, at all stages of interpretation. The conducted research has allowed to successfully integrated electromagnetic TEM data in the seismic processing package, which greatly simplifies the process of integration of geophysical data allows to get more accurate forecast results of prospective areas and increases of investment appeal of objects of subsurface use. **Keywords:** electromagnetic research, sensing of the formation of the field in the near zone, transformation of the curve of formation of the field, Siberian platform, oil and gas prospective areas, conducting and high-resistance horizons.*

Введение

Изучение геоэлектрического строения осадочного чехла является неотъемлемой частью комплекса методов геофизических исследований в современном мире при поисках месторождений углеводородного сырья. Изучение геоэлектрических характеристик, точнее, изменения удельного электрического сопротивления горных пород, слагающих разрез осадочного чехла, позволяет производить вероятностную оценку перспективных в нефтегазоносном отношении участков,