

ТЕХНОЛОГИЯ КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ

Глушкова Т.А.¹, Давыдов Ю.Б.¹, Демехов Ю.В.², Перелыгин В.Т.⁴, Румянцев Д.Р.³,
Савин Е.А.¹, Талалай А.Г.¹, Шинкарьук И.Е.¹

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: nedra@uralnedra.ru

²НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан (010000, Астана, ул. Д. Кунаева, 10), e-mail: yudemekhov@grk.kz

³ООО Концерн «НЕДРА», Екатеринбург, Россия (620063, Екатеринбург, с. Горный Щит, ул. Ленина, 51), e-mail: groupnedra@mail.ru

⁴ОАО НПП «ВНИИГИС», Октябрьский, Россия (452614, Октябрьский, ул. Горького, 1), e-mail: ingeo41@mail.ru

Каротаж мгновенных нейтронов деления (КНД-М) позволяет определять содержание урана в естественном залегании, исключая ошибки, связанные с изменением коэффициента радиоактивного равновесия в процессе выщелачивания урана, а также дает возможность оценивать геотехнологические параметры (влажность, глинистость, пористость) руд и пород рудовмещающего горизонта. Создана аппаратура, реализующая на современном уровне импульсные нейтронные методы каротажа (КНД-М, ИНК-Т), позволяющие решать вышеизложенные задачи. Разработано новое программно-математическое обеспечение для комплексной интерпретации методов. Развитие любой технологии, в т.ч. КНД-технологии, должно обеспечивать достижение научных результатов мирового уровня, подготовку и укрепление в сфере науки, производства и образования инженерных, научных и научно-педагогических кадров, формирование эффективных и жизнеспособных коллективов. Рассмотрены дальнейшие пути развития технологии КНД-М.

Ключевые слова: каротаж мгновенных нейтронов деления, технология, уран, скважина, исследование.

LOGGING TECHNOLOGY FISSION NEUTRON

Glushkova T.A.¹, Davidov Y.B.¹, Demekhov Y.V.², Perelygin V.T.⁴, Rumyantsev D.R.³,
Savin E.A.¹, Talalay A.G.¹, Shinkaryuk I.E.¹

¹Ural state mining university, Ekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, St. Kuibysheva, 30), e-mail: science@mail.ru

²NAK «Kazatomprom», Astana, Kazakhstan (010000, Astana, St. D. Kunaeva, 10), e-mail: yudemekhov@grk.kz

³Co Ltd «Nedra», Ekaterinburg, Russia (620902, Ekaterinburg, s. Gorniy Shit, St. Lenina, 51), e-mail: groupnedra@mail.ru

⁴Research and design institute of well logging (VNIIGIS), Oktyabrsky, Russia (452614, Oktyabrsky, St. Gorky, 1), e-mail: ingeo41@mail.ru

Logging fission neutron (CLP-M) allows to determine the content of uranium in natural occurrence, eliminating errors associated with changes in the ratio of radioactive equilibrium in the leaching of uranium, and also gives the possibility to estimate geotechnical parameters (moisture content, clay content, porosity) of ores and rocks of the ore-bearing horizon. Created machinery which realized on the modern level methods of pulses neutron logging (CLP-M, INL-T), which can solve the above problems. Developed a new software for complex interpretation methods. The development of any technology, including KND technology should achieve scientific results of the international level, the preparation and consolidation in the field of science, industry and engineering education, scientific and scientific-pedagogical personnel, the formation of an effective and viable groups. Consider further ways of development of CLP-M.

Keywords: logging fission neutrons, technology, uranium, well, study.

КНД-технология

Опробование радиоактивных руд по скважинам, основанное на химическом анализе керна, является трудоемкой и дорогостоящей операцией. Качество такого опробования и его оперативность не всегда соответствуют требованиям производства из-за неполного выхода керна и разрыва во времени между его отбором и получением результатов анализа. При отработке месторождений методом подземного выщелачивания подъем керна вообще

исключается. От указанных недостатков свободны ядернофизические методы опробования урановых руд, среди которых большое значение имеет каротаж мгновенных нейтронов деления ядер урана (КНД-М).

Достоверность результатов КНД-М снижается из-за погрешностей измерения, связанных с влиянием переменной влажности, плотности, вещественного состава горных пород и влиянием промежуточной зоны между стенкой скважины и скважинным прибором. Поэтому возникает необходимость в количественной оценке указанных мешающих факторов.

Теоретическая проработка каротажа нейтронного деления ранее была выполнена многими организациями, одной из основоположников является ВИРГ «Рудгеофизика». В 1970-1980 гг. Уральская ядерногеофизическая школа активно участвовала в настоящих исследованиях. Были получены авторские свидетельства: Давыдов Ю. Б. № 481217 приоритет от 11.02.1970 г.; № 508155, приоритет от 21.05.1974 г. и др.

В 1997 г. на основе теоретических расчетов, выполненных профессором Ю. Б. Давыдовым, исследования по разработке и изготовлению аппаратурно-программного комплекса КНД были инициированы Институтом испытаний и сертификации минерального сырья (А. Г. Талалай, Ю. Б. Давыдов, Ю. В. Демехов, Д. Р. Румянцев), «ИНГЕО» (Е. С. Кучурин, В. Т. Перелыгин, А. И. Машкин).

Разработка защищена патентами РФ (№ 71003, 71004) [7, 8].

Приведенная на рис. 1 диаграмма сравнения данных гамма-каротажа (выделен зеленым цветом) и КНД-М (выделен желтым цветом) по скважине наглядно показывает неприемлемость использования для подсчета запасов и контроля за отработкой месторождений урана такого традиционного метода, как гамма-каротаж, который требует дополнительных исследований по изучению радиологических условий каждого месторождения, а в отдельных случаях конкретных залежей и даже подсчетных блоков месторождения гидрогенного типа [2, 5].

Разработанный программно-аппаратурный комплекс проведения КНД-М (КНД-48/53) (рис. 2-4), реализующий двухзондовую методику измерений параметров уранового оруденения, позволяет за одну операцию спуска-подъема получить следующие данные:

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

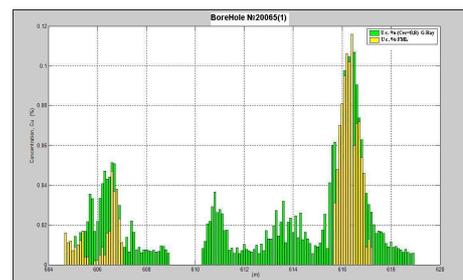


Рис. 1. Пример сопоставления данных гамма-каротажа и КНД-М, показывающий различия в ореолах распределения радия и урана в пределах скважины (коэффициент радиоактивного равновесия равен 0,8)

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

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

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

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

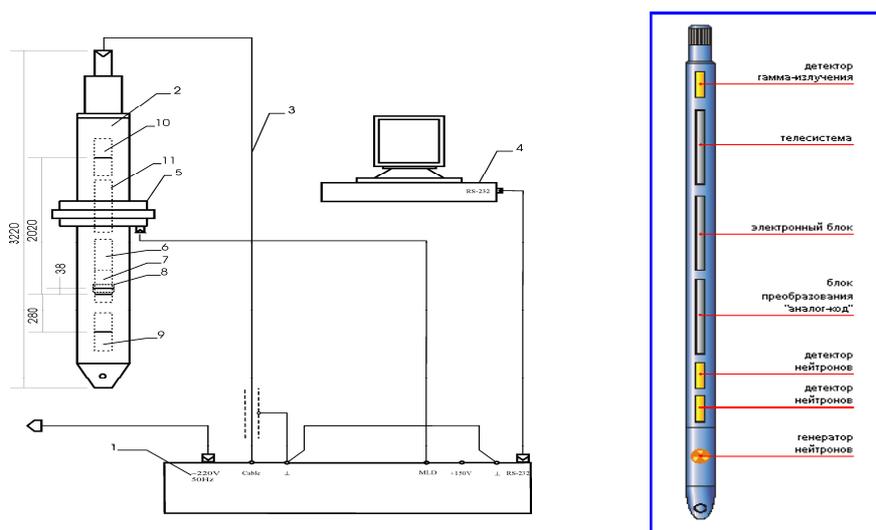


Рис.2. Блок-схема аппаратного комплекса КНД-М (двухзондовый стандарт) [2]

Определение содержания урана в скважинах полигонов подземного выщелачивания (ПВ) на современном этапе базируется в основном на интерпретации результатов гамма-каротажа. В связи со сложной радиологией руд, присущей месторождениям урана гидрогенного типа, параметры рудных пересечений (мощность, содержание урана), определенные по интерпретации гамма-каротажа, могут иметь существенные погрешности. Линейные запасы по аномальным пересечениям технологических скважин являются одним из основных факторов формирования качественных по содержанию урана продуктивных растворов на технологических блоках полигонов ПВ.

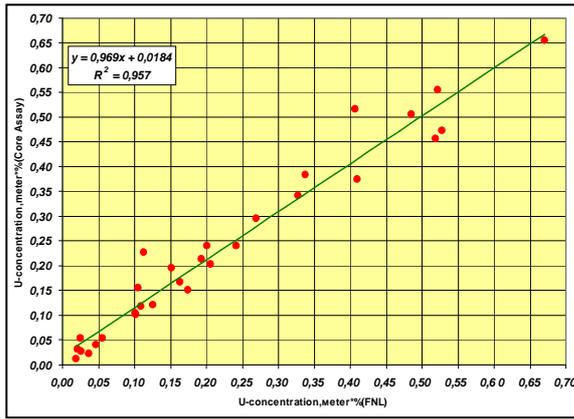


Рис. 3. Сравнение результатов анализа керна скважин и результатов измерений КНД-М (применен прибор КНД-53 в двухзондовом стандарте) [2]

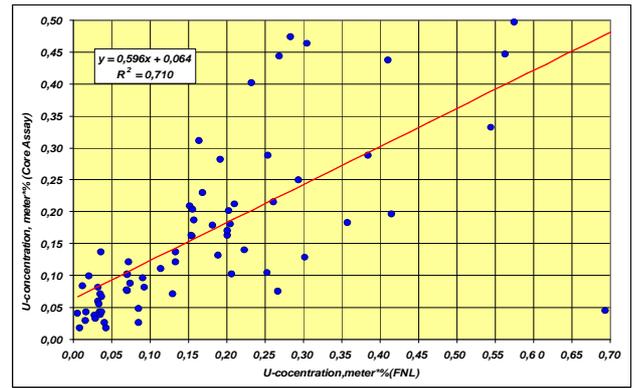


Рис. 4. Сравнение результатов анализа керна скважин и результатов измерений КНД-М (применен прибор в однозондовом стандарте) [2]

Создана аппаратура, реализующая на современном уровне импульсные нейтронные методы каротажа (КНД-М, ИНК-Т), позволяющие решать вышеизложенные задачи. Разработано новое программно-математическое обеспечение комплексной интерпретации методов КНД-М, ИНК-Т с решением задач по уточненному определению распределения содержания урана по рудным интервалам и пористости, глинистости по рудоносной зоне (рис. 5).

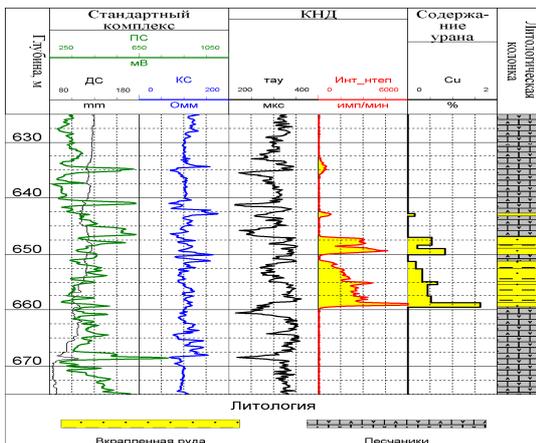


Рис. 5. Пример использования КНД на одном из вышеприведенных месторождений для прямого определения массовой доли урана с учетом влияния водородо-содержания среды

В скважинном приборе КНД-48 применена двухзондовая детекторная система, реализующая следующие виды каротажа: 1) каротаж нейтронов деления мгновенных – КНД-М (1-зонд), 2) импульсный нейтронный каротаж по тепловым нейтронам – ИНК-Т (2-зонд) и интегральный гамма-каротаж.

Реализация каротажа ИНК-Т существенно увеличила возможности интерпретации КНД-М по определению с меньшей погрешностью линейных запасов урана по рудным интервалам, а также их геологических параметров (пористость, глинистость).

Методика исследований включала в себя проведение градуировки скважинного прибора КНД-48 в соответствии с Инструкцией по каротажу методом мгновенных нейтронов деления при изучении урановых месторождений

гидрогенного типа (Мингео СССР, НПО «Рудгеофизика, 1986). Градуировка прибора КНД-48 проводилась в комплексе с цифровым регистратором «Гектор» (ЗАО НПФ «Эликом», г. Уфа) и ОАО НПП «ВНИИГИС» (г. Октябрьский, Россия). Основные контрольные коэффициенты градуировки скважинного прибора КНД-48 и τ – время жизни тепловых нейтронов однородной среды (воды – 207 мкс.) для метода ИНК-Т были определены с погрешностями не более $\pm 3\%$ отн [3].

В новых опытных приборах КНД-53 и КНД-60 учтены предложения по усовершенствованию блоков аппаратуры (блок детектирования КНД-М, блок монитора) по данным, полученным в процессе полевых испытаний опытного прибора КНД-48. Новые блоки монитора в приборах КНД-53 и КНД-60 снизили относительную погрешность определения потока нейтронов генератора с $\pm 15\%$ до ($\pm 5\%$ КНД-53, $\pm 3\%$ КНД-60); соответственно с меньшей погрешностью определяются сигналы блока детектирования КНД-М по обоим типам скважинных приборов. Были существенно переработаны схема и конструкция блока питания детекторов КНД-М и ИНК-Т, блока телеметрии, что позволило уменьшить габаритные размеры по скважинному прибору КНД-53 до 2900 мм. В скважинный прибор КНД-60 в заданных прежних габаритах реализован канал ИНК-Т на счетчике тепловых нейтронов СНМ-18 [6].

Проведены комплексные исследования опытными скважинными приборами КНД-53 и КНД-60.

Основные направления использования данных (K_p , $K_{пот}$, $K_{гл}$), получаемых при интерпретации каротажа методами КНД-М и ИНК-Т опытных образцов скважинных приборов КНД-53 и КНД-60 [4]:

- построение трехмерных геологических моделей (поля коллекторских и литологических типов пород);
- гидродинамическое моделирование в технологических блоках ПСВ;
- нейросетевая обработка данных ГИС с целью определения фильтрационных свойств пород рудного горизонта.

В итоге теоретических, экспериментальных исследований, и опытно-методических работ разработана и внедрена аппаратура и технология каротажа нейтронов деления (КНД-М) при разведке и эксплуатации месторождений урана гидрогенного типа [1].

Использование КНД-М на стадии геологоразведочных работ позволяет существенно сократить расходы за счет: увеличения доли бескернового бурения до 85-90 % от общего объема буровых работ; сокращения затрат на транспортировку кернового материала до лаборатории; сокращения лабораторно-аналитических работ; сокращения затрат на захоронение кернового материала; повышения достоверности подсчета запасов урана на

гидрогенных месторождениях по промышленным категориям и сокращения доли геологического риска на стадии разработки ТЭО и проекта добывающего предприятия.

Наука. Производство. Образование

Развитие любой технологии, в т.ч. КНД-технологии должно обеспечивать достижение научных результатов мирового уровня, подготовку и закрепление в сфере науки, производства и образования инженерных, научных и научно-педагогических кадров, формирование эффективных и жизнеспособных коллективов.

В области «науки» необходимо стимулировать систему геологического изучения недр и недропользования на базе современных сертифицированных инструментальных технологий аэро-, наземных геофизических, геохимических, аналитических исследований, скважинных методов и работ на стратегически важные виды полезных ископаемых, в т.ч. уран. Необходимо формировать и развивать базы данных по сопряженным (космос – воздух – земля – скважина) информационно-инструментальным технологиям. Исследование урановых месторождений является многофакторной задачей. Степень обобщения и детальность проработки зависит от стадии геологоразведочных и эксплуатационных работ. Создание банка разноранговых их физико-геологических моделей геологической среды, внедрение компьютерных технологий по созданию моделей способствует оптимальному решению задач прогноза, поисков, разведки и отработки месторождения.

По направлению «производство» необходимо развивать интегрированные технологии.

По «образованию» – формирование и совершенствование системы обучения работе с современными программно-информационными средствами, включая ГИС-технологии, обработку материалов и др., как в системе образования, так и в науке и производстве.

Дальнейшие этапы развития технологии каротажа мгновенных нейтронов деления

1. Каротаж приборами ЦСП КНД-60 (53), реализующим методы КНД-м, ИНКт, ГК на всех керновых скважинах блока ОПВ, с целью оценки погрешности измерений содержания и запасов урана в рудных пересечениях опытного блока.

2. На основе интерпретации данных каротажа приборов ЦСП КНД-60(53) разработка ПМО.

3. Реализация 3-D моделирования и подсчет запасов урана пакетом программ MICROMINE на основе вновь обновляемой базы вводимых скважин блока ОПВ.

4. Применение современных методик оценки, характера неоднородности пористости (проницаемости) в 2-D (разрезы) и 3-D (объемы) геометрии, описываемыми фрактальными соотношениями каротажной диаграммы ИНКт скважинных приборов КНД-60 (53), реализующих методы КНД-м и ИНКт.

5. Интенсификация режима работы урановых скважин с применением технологии скважинного упругого воздействия на продуктивные пласты. Методы интенсификации: закачка воды, закачка пара, разогрев пласта, акустическое воздействие, кислотная обработка, гидроразрыв пласта, горизонтальные скважины.

6. Управление заводнением. Функциональное предназначение заключается в автоматизации процессов формирования структурированного электронного архива дел скважин; анализе взаимовлияния добывающих и нагнетательных скважин; расчёте компенсации отбора жидкости закачкой в скважинах; создании прокси-модели для решения оптимизационных задач; технико-экономическом обосновании оптимальных режимов работы скважин; формировании графика работ на месторождении; обосновании плана по добыче урана и закачке жидкости.

7. Разработка и внедрение технологии управления потоками рабочего реагента и его концентрации с целью повышения производительности режима работы скважин блоков залежей с низкой выработкой металла методом направленного плазменно-импульсного воздействия на участки залежей с низкой проницаемостью, повышенным содержанием металла по данным КНД и радиоволнового просвечивания межскважинного пространства, что позволит повысить рентабельность добычи и сократить сроки отработки залежей.

8. Разработка и реализация рентгенрадиометрического опробования на содержание урана выщелачивающих растворов в фильтрах действующих откачных скважин блока ОПВ.

9. Создание Межрегионального сертификационного центра.

10. Создание полигона для метрологического обеспечения средств измерений, используемых при радиометрических методах каротажа.

11. Организация совместных структур для координации сотрудничества, в т.ч. базовых кафедр с новой функциональной нагрузкой и организационно-экономической моделью, а также создание новых и переоснащение имеющихся учебно-научных лабораторий.

Список литературы

1. Демехов Ю. В. Каротаж нейтронов деления (КНД-М) при разведке и эксплуатации месторождений урана гидрогенного типа: дисс. ...канд. геол-мин. наук: 25.00.10. Ю. В. Демехов. – Екатеринбург, 2013. – 221 с.
2. Каротаж нейтронов деления для определения содержания урана в скважинах на гидрогенных месторождениях, обрабатываемых способом подземного выщелачивания / Ю. Б. Давыдов, Ю. В. Демехов, А. И. Машкин, В. Т. Перелыгин, Д. Р. Румянцев, А. Г. Талалай // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург, 2010. – № 3. – С. 106-113.

3. Методическое, метрологическое и сертификационное обеспечение производств урановой промышленности / Т. А. Глушкова, А. Г. Талалай, Ю. В. Демехов, И. М. Хайкович // Материалы Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург, 2008. – С.10.
4. Оценка степени неоднородностей и проницаемости коллекторов при построении 3D моделей, основанных на анализе фрактальных свойств результатов каротажа / Ю. В. Демехов, И. Г. Горелов, В. В. Макаров, Д. Р. Румянцев, Е. А. Савин, А. Г. Талалай // Мат-лы XI Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург, УГГУ, 2013. – С.104-105.
5. Применение скважинных приборов каротажа нейтронов деления при разведке и эксплуатации месторождений урана / Т. А. Глушкова, Ю. В. Демехов, С. В. Мазур, А. И. Машкин, В. Т. Перельгин, Е. А. Савин, А. Г. Талалай // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург, 2012. – № 3. – С.165-169.
6. Решение новых задач при разведке и эксплуатации месторождений урана гидрогенного типа усовершенствованным скважинным прибором, реализующим методы каротажа нейтронов деления М (мгновенных) и импульсного нейтронного каротажа по тепловым нейтронам / Ю. В. Демехов, Д. Р. Румянцев, В. Т. Перельгин, А. Г. Талалай // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». – Алматы, 2006. – С. 22-23.
7. Румянцев Д. Р., Демехов Ю. В., Перельгин В. Т., Талалай А. Г. Устройство каротажа урановых руд: Патент № 71003; Заявл. 30.08.2007; Оpubл. 20.02.2008, Бюл. № 5.
8. Румянцев Д. Р., Демехов Ю. В., Перельгин В. Т., Талалай А. Г. Устройство каротажа урановых руд: Патент № 71004; Заявл. 30.08.2007; Оpubл. 20.02.2008, Бюл. № 5.

Рецензенты:

Наумов В.А., д.г.-м.н., доцент, директор Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета, профессор кафедры поисков и разведки полезных ископаемых, г.Пермь;

Щапов В.А., д.г.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории геодинамики ФГБУН «Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича» УрО РАН, г.Екатеринбург.