

Таким образом, предложенный алгоритм определения периодичности применения индукционного каротажа для мониторинга движения технологических растворов позволяет учитывать специфические условия режима выщелачивания, обеспечивая возможность оптимизации данного процесса с точки зрения технико-экономической целесообразности.

#### Литература

1. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС [Текст]: учебное пособие / Пермский Государственный Технологический Университет; сост. В.Н. Косков; сост. Б.В. Косков – Пермь: Изд-во Перм. Гос.тех. ун-та, 2007. – 317 с.
2. Данные по комплексному геофизическому исследованию скважинного фонда месторождения Инкай [Текст] / КазАтомпром, 2019. – 76 с.
3. Данные по комплексному геофизическому исследованию скважинного фонда месторождения Моинкум [Текст] / КазАтомпром, 2019. – 84 с.
4. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания [Текст] / Северский Технологический Институт; сост. М.Д. Носков. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2010. – 83 с.
5. Об утверждении Правил стадийности геологоразведки [Электронный ресурс]: Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 18.05.2018 № 342. – Доступ из справ.-правовой системы «Әділет»
6. Технология урана и плутония [Текст] учебное пособие / Томский Политехнический университет; сост. А. А. Маслов, Г.В. Каляцкая, Г.Н. Амелина и др.; под.ред. А. А. Маслова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 97 с.
7. Химия и технология урана [Текст]: учебное пособие для вузов / Центральный научно-исследовательский институт управления, экономики и информации Министерства атомной промышленности; сост. Н.С. Тураев; сост. И.И. Жерин. – М.: Изд – во ФГУП ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 407с.

### **ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ И ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ ПОРОД КАК ФАКТОР ПРЕИМУЩЕСТВА ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА НА ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАНА**

**Бейсекеев Е.Ш.**

Научный руководитель профессор Язиков Е.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Добыча урана на пластово-инфильтрационных месторождениях стала возможна в конце 70-х годов благодаря разработке метода подземно-скважинного выщелачивания. Данный метод является одним из наиболее щадящих по отношению к окружающей среде, и, в то же время, отличается высоким показателем рудоизвлечения – в пределах 80-90 % [3].

Однако пластово-инфильтрационные месторождения урана представляют собой среды, достаточно сложные для применения геофизических исследований. Эпигенетический характер формирования месторождений предполагает наличие сложно дифференцированных по фильтрационным свойствам интервалов, что создает трудности как при литолого-фациальном картировании, так и в процессе контроля растекания технологических растворов [6]. Особую сложность представляют тонкослоистые среды, сложенные породами с участками глинистой цементации. Петрофизикохимические и литологические особенности высокодифференцированных по фильтрационным свойствам сред, предполагают ограничения в информативности таких методов геофизического исследования как гамма-каротаж, термометрия, а также каротаж потенциала собственной поляризации и другие электрические методы исследования. В частности, высокое удельное сопротивление – от 500 Ом\*м, является фактором, ограничивающим применение каротажа сопротивлений и каротажа потенциала собственной поляризации. Кроме того, информативность перечисленных методов существенно снижается после закисления, в силу изменения породы под воздействием выщелачивающего раствора и искажения вследствие термобарического воздействия [1, 5].

Нивелировать недостатки вышеназванных методов возможно с применением индукционного каротажа как метода контроля растекания технологических растворов.

Применение индукционного каротажа, основано на замере кажущегося удельного сопротивления  $\sigma$  (величина, обратная кажущейся удельной электропроводности  $\gamma$ ). Сущность эффективности индукционного каротажа как метода мониторинга растекания технологических растворов кроется в прямой корреляционной зависимости динамики геоэлектрических свойств породы и изменения ее фильтрационных свойств под воздействием выщелачивающего раствора [7].

Многолетний опыт применения индукционного каротажного зондирования в условиях отработки пластово-инфильтрационных месторождений Шу-Сарысуйской урановорудной провинции, в частности – на месторождении Инкай, дает возможность исследовать и наглядно продемонстрировать наличие сильной прямой линейной корреляционной зависимости между проницаемостью породы и ее электропроводностью. Причем наличие данной зависимости справедливо как для природных исходных параметров рудовмещающей толщи, так и для динамики ее изменения под воздействием выщелачивающего раствора. Рудовмещающие толщи на гидрогенных месторождениях Шу-Сарысуйской урановорудной провинции сложены преимущественно песчаными и песчано-алевролитными породами, с проницаемостью до 36 мД, с пропластками практически непроницаемых глинистых и илово-глинистых отложений, толщина которых может варьироваться от долей метра до двух метров. Отмечаются интервалы с высокодифференцированными тонкослоистыми породами,

## СЕКЦИЯ 5. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

имеющими как повышенные – до 800-900 Сим/м показатели электропроводности, так и пониженные – до отрицательных значений. В среднем электропроводность рудовмещающих пород колеблется в пределах 70-350 Сим/м и прямо пропорциональна их проницаемости [2].

Электропроводность раствора с содержанием серной кислоты в 1,3-1,7%, используемого на месторождении составляет порядка 80 Сим/м. По мере насыщения рудовмещающей породы выщелачивающим раствором, происходит повышение проницаемости закисленной, ниже и выщележащей сред, что отчетливо наблюдается при повторном индукционном каротажном зондировании. Нами было произведено исследование корреляционных связей между электропроводностью и проницаемостью рудовмещающей породы и их сопоставление на этапе до и после закисления. Исследованием было охвачено 12 скважин, мощность исследованной толщи составила 320-360 м., с интервальным шагом в 0,5 м. Следует отметить, что геоэлектрическая картина, как и проницаемость пород изученных скважин, существенным образом отличаются как по степени разброса, так и по величине предельных значений. Это позволило повысить достоверность полученных данных вне привязки к закономерностям того или иного текстурно-структурного подтипа. Индукционное каротажное зондирование производилось аппаратурой ПИК-50 с чувствительностью от 0 до 500 Ом\*м на базе цифровой каротажной станции типа «Вулкан V3».

Корреляционный анализ произведен путем расчета коэффициента линейной корреляции Пирсона, рассчитанной по формуле:

$$r = \frac{n \cdot \sum(x_i - y_i) - \sum x_i - y_i}{\sqrt{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 + n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (1)$$

где:  $r$  – коэффициент линейной корреляции Пирсона,  $n$  – число глубинных интервалов,  $x_i$  – показатель электропроводности  $\sigma$  на  $n$ -ом глубинном интервале,  $y_i$  – показатель проницаемости  $k$  на  $n$ -ом глубинном интервале [4].

Анализ производился в двух направлениях:

- для оценки зависимости для каждой исследуемой скважины в исходном состоянии (до закисления) и в динамике;

- для оценки зависимости по всей выборке.

В результате анализа была получена достаточно однородная картина зависимости по обследованным скважинам, изложенная в представленной ниже таблице.

**Таблица**

**Результаты анализа линейной зависимости электропроводности  $\sigma$  и проницаемости  $k$**

П/п № скважины	Коэффициент $r$ – Пирсона до закисления	Коэффициент $r$ – Пирсона после закисления
1	0,78	0,76
2	0,85	0,87
3	0,68	0,57
4	0,87	0,89
5	0,82	0,82
6	0,87	0,85
7	0,87	0,88
8	0,89	0,86
9	0,75	0,78
10	0,82	0,79
11	0,77	0,82
12	0,74	0,74

Среднее по выборке значение коэффициента корреляции составило до закисления – 0,81, после закисления – 0,80. Приведенные выше результаты анализа наглядно демонстрируют, во-первых, наличие ярко выраженной прямой линейной зависимости между электропроводностью и проницаемостью, и, во-вторых, высокую устойчивость данной взаимосвязи. Данная устойчивая в динамике зависимость между электропроводностью и проницаемостью обуславливает высокую точность и достоверность индукционного каротажа для оценки изменения фильтрационных свойств пород в процессе подземного скважинного выщелачивания на урановорудных месторождениях гидрогенного типа. Применение индукционного каротажа с целью мониторинга движения технологических растворов в рудовмещающей толще позволяет существенно повысить точность прогноза растекания и снизить общие затраты на проведение и комплексирование геофизических исследований скважин.

Литература

1. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС [Текст]: учебное пособие / Пермский Государственный Технологический Университет; сост. В.Н. Косков; сост. Б.В. Косков – Пермь: Изд-во Перм. Гос.тех. ун-та, 2007. – 317 с.
2. Данные по комплексному геофизическому исследованию скважинного фонда технологического блока X месторождения Инкай [Текст] / КазАтомпром, 2019. – 76 с.
3. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания [Текст] / Северский Технологический Институт; сост. М.Д. Носков. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2010. – 83 с.
4. Корреляционный анализ [Текст]: Учебное пособие для вузов / Воронежский Государственный Университет; сост. М.А. Харченко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 31 с.
5. Мухамедиев Р.И. Средства автоматизации обработки данных геофизического исследования скважин на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа / Р.И. Мухамедиев, Я.И. Кучин // Электронный журнал Cloud of science. – 2015. – Т. 2. – № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cloudofscience.ru>
6. Пластово-инфильтрационные рудообразования [Текст]; сост. М.Ф. Максимова; сост. Е.М. Шмариович. – М.: Изд-во «Недра», 1993. – 160 с.
7. Теоретические и экспериментальные основы индукционных методов исследований скважин [Текст]: учебное пособие / Уральское отделение Российской Академии Наук; сост. А.Н. Ратушняк, сост. В.К. Теплухин. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2017. – 127 с.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

**Бурносова И.А.**

Научный руководитель Окс Л.С.

ООО «НК «Роснефть» - НТЦ», г. Краснодар, Россия

Для определения пористости в скважинах используется целый набор методов ГИС открытого ствола (нейтронный (НК), плотностной (ГТКп) и акустический (АК) каротаж). Традиционной проблемой при этом является определение неподвижной или «связанной» части водяной фазы, а также зависимость расчетной пористости от состава матрицы. Наибольшие проблемы при этом вызывают разрезы с неоднородной литологией и большой долей переходных разностей.

Данная работа посвящена оценке возможности использования метода ядерно-магнитного резонанса (ЯМК) при комплексной оценке пористости и литологии отложений на примере сложно построенного пермского разреза Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Артинский горизонт имеет неоднородную литологическую характеристику и сложен как карбонатными, так и кремнистыми породами. По описаниям керна в разрезе выделены известняки (чистые и с примесью терригенного материала), силициты и спонголиты (близкие по химическому составу, но отличающиеся по структуре порового пространства), алевролиты (чистые и в разной степени карбонатизированные), а также их глинизированные разности (мергели и глинистые алевролиты). Тип коллектора преимущественно-поровый. По материалам сканирующего каротажа отмечается трещиноватость некоторых прослоев известняков и силицитов, однако объем выполненных исследований не достаточен для анализа распространения трещиноватости и ее характеристик.

Для оценки общей пористости подобных отложений может быть использован метод ЯМК.  $K_{\text{Побщ}}^{\text{ЯМК}}$  определяется с большой степенью достоверности, и ее величина не зависит от априорной литологии разреза [1]. В то же время на методы пористости, относящиеся к стандартному комплексу ГИС (НК, ГТКп, АК) литология оказывает существенное влияние. Таким образом, имея пористость по ЯМК в качестве опорной, мы получаем возможность оценить литологию отложений по комплексу методов. При этом дополнительно стоит учитывать, что методы НК и ГТКп чувствительны к общей пористости, а АК – только к межзерновой ее компоненте.

Данный подход был реализован в системе ПРАЙМ с помощью функции решения системы нелинейных уравнений. Технически, число уравнений такой системы должно быть на одно меньше, чем число искоемых компонент [2]. Однако, в случае обработки геолого-петрофизической информации, где ряд компонент имеют весьма близкие параметры, стоит учитывать все возможные взаимоотношения. Для изучаемого разреза по материалам керновых исследований было установлено, что алевролитовая компонента составляет примерно 67,3% от общей доли нерастворимого остатка, что также было учтено при получении литологической характеристики разреза.

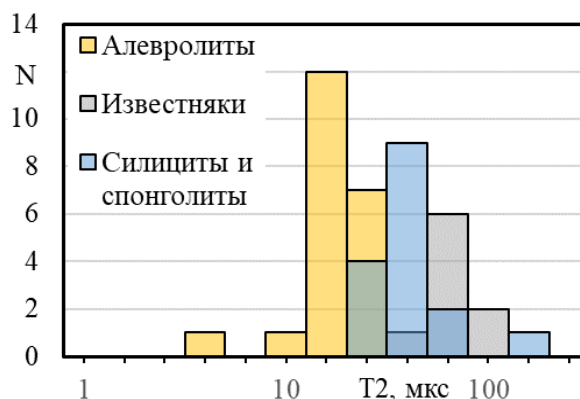


Рис. 1. Распределения T2<sub>гр</sub> для образцов артинского горизонта