

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»**

11-12 апреля 2016 года

ПОЛЕВАЯ ГЕОФИЗИКА

УДК 553.43:519.2(470.5)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНТРОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ЧУСОВСКОМ МЕДНО-КОЛЧЕДАННОМ
МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Банникова П.А.

Научный руководитель Кузин А.В., канд. геол.-минерал. наук, доцент
Уральский государственный горный университет

При картировании горных пород геологическая эффективность геофизических методов может быть оценена по их информативности. Расчет информативности основан на оценке среднего количества информации о системе горных пород Y , содержащейся в сообщении о состоянии системы значений физического поля X над системой горных пород Y .

Пусть X физическая система, которая случайным образом может оказаться в том или ином состоянии, т.е. системе X присуща какая-то степень неопределенности. Мерой априорной неопределенности состояния системы является энтропия [1]. Энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i * \log_{\alpha} p_i \quad (1)$$

Для подсчета H в двоичных единицах удобно использовать функцию Шеннона:

$$\eta(p) = -p * \log_2 p,$$

значения которой табулированы. Используя функцию $\eta(p)$, выражение (1) можно переписать в виде

$$H(X) = \sum_{i=1}^n \eta(p_i)$$

Методика обработки.

1) Выделяем типы пород, встречающихся на профиле (система Y);
2) Выделяем систему интервалов значений физического поля X ;
3) Подсчитываем вероятности состояний $P_{ij} = P(x_i, y_j)$ объединенной системы (X, Y) . Для этого воспользуемся геометрической трактовкой понятия вероятности. Вероятность встречи горной породы j -го типа y_j равна:

$$P(y_j) = L(y_j)/L,$$

вероятность наблюдения физического поля на i -том интервале значений x_i равна:

$$P(x_i) = L(x_i)/L,$$

вероятность одновременной встречи горной породы j -го типа и наблюдения физического поля в i -том интервале значений x_i равна:

$$P(y_j, x_i) = L(y_j, x_i)/L,$$

где L – полная длина профиля;

- 4) Составляем таблицу вероятностей P_{ij} , затем таблицу условных вероятностей $P(y_j/x_i)$;
 5) Считаем условную энтропию системы типов горных пород Y , остающуюся после того, как состояние системы интервалов значений полностью определилось:

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i * \eta[P(y_j/x_i)];$$

6) определим среднюю информацию о системе Y , содержащейся в системе X , как уменьшение энтропии системы Y в результате получения сведений о X .

Для сравнения геологической информативности различных методов удобно использовать понятие относительной информации, которая получается в результате нормировки абсолютной информации к априорной энтропии системы типов горных пород. Эта система применена для оценки информативности полевых геофизических методов на Чусовском медно-колчеданном месторождении.

Чусовское медно-колчеданное месторождение уральского типа находится на южной границе Свердловской области. Оно располагается в вулканогенно-осадочных породах базальт-риолитовой формации восточного склона Красноуральско-Дегтярско-Карабашской гряды [2]. Породы представлены чередованием прослоев базальтов, туфов дацитового состава, кварц-серицитовых и углеродисто-кремнистых сланцев, субвулканическими дайками риолитов, серпентинитов. Руды представлены, в основном, вкрапленными медно-цинковыми телами. Протяженность оруденения превышает 3 км. Все рудные тела располагаются в толще кварц-серицитовых сланцев.

На профиле было выделено 4 типа горных пород: рудовмещающие сланцы, кислые субвулканиды, андезиты, серпентиниты. Оценка информативности производилась по кривым кажущегося сопротивления и поляризуемости по методам срединного градиента и анизотропии. Информативность этих методов оказалась невысокой. Потому при интерпретации данных методов полевой геофизики необходимо учитывать структурно-геологические особенности рудного поля, палеовулканические реконструкции вмещающей депрессии и данные каротажа и скважинной геофизики.

Таблица - Оценка информативности электроразведочных методов

Метод	Длина профиля	Информативность, %
ρ_k (МСГ, АВ=1200 м)	884	15,63
Поляризуемость (МСГ)	884	-6,5
ρ_k (метод анизотропии, установка А50М50N)	455	24,4
Анизотропия	455	17,92

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вентцель Е. С. Теория вероятности. М., Физматгиз, 1967. 564 с.
2. Медноколчеданные месторождения Урала: геологическое строение /В. А. Прокин, Ф. П. Буслаев, М. И. Исмагилов и др. Свердловск, УрО АН СССР, 1988. 241 с.

ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ С 1950 Г. ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Зубков М.М.

Научный руководитель доц. Виноградов В.Б.
Уральский государственный горный университет

Природа магнитного поля Земли не известна. Значительные изменения характера движения полюсов и уменьшение магнитного момента Земли тревожат население. Изучение миграции полюсов поможет решению этих вопросов.

Магнитным полюсом называют пункт на земной поверхности, в котором вектор геомагнитной индукции направлен вертикально. Магнитный полюс экспериментально найден в 1831 году. Измерениями установлено, что этому условию удовлетворяет площадка радиусом 10 км. В течение 185 лет наблюдалось движение магнитных полюсов, составлены карты их движения. Движения южного и северного полюсов не симметричны (рис. 1).

Средняя скорость движения полюсов в течение длительного времени составляла 10 км/г. В 1990 году произошло резкое увеличение скорости движения северного магнитного полюса до 20 км/г, а в 2007 году геологи доложили, что северный магнитный полюс мчится в сторону Сибири со скоростью 55-60 км/г. Южный полюс до 1986 года двигался весьма быстро, но потом его скорость упала.

В 1948 году максимальное наклонение было измерено на берегу озера Аллен на острове Принца Уэльского. Было установлено, что полюс переместился на 400 км с точки последнего месторасположения. С тех пор точное расположение северного магнитного полюса определяется учеными с периодичностью около 10 лет:

1904 год: 96,6° з. д. 70,5° с. ш.

1948 год: 100,9° з. д. 73,8° с. ш. (с 1904 года по 1948 год: +4,3 и +3,3 градусов)

Переместился на расстояние 400 км.

1962 год: 100,8° з. д. 75,1° с. ш. (с 1948 года по 1962 год: 0 и +1,3 градусов)

Переместился за последние 14 лет на 140 км.

1973 год: 100,6° з. д. 76,0° с. ш. (с 1962 года по 1973 год: 0 и +0,9 градусов)

Переместился на 110 км.

1984 год: 102,3° з. д. 77,0° с. ш. (с 1973 года по 1984 год: +1,7 и +1 градус)

Переместился еще на 110 км.

1994 год: 104,0° з. д. 78,3° с. ш. (с 1984 года по 1994 год: +1,7 и +1,3 градусов)

Переместился на 140 км.

2004 год: 113,24° з. д. 82,18° с. ш. (с 2001 года по 2004 год: +2,7 и 1,0 градусов)

Переместился на 500 км.

2012 год: 147,0° з. д. 85,54° с. ш. (с 2010 года по 2012 год: +14,6 и 0,5 градусов)

Переместился на 440 км.

2013 год: 148,02° з. д. 85,93° с. ш.

2014 год: 153,94° з. д. 86,13° с. ш.

2015 год: 160,03° з. д. 86,29° с. ш.

2016 год: 166,29° з. д. 86,4° с. ш.

Переместился на 249 км.

Южный магнитный полюс, в отличие от северного, удаляется от своего географического полюса.

1952 год: 143,0° в. д. 68,42° ю. ш.

1962 год: 140,0° в. д. 67,3° ю. ш.

1986 год: 139,1° в. д. 65,2° ю. ш.

1998 год: 138,30° в. д. 64,36° ю. ш.

2000 год: 138,07° в. д. 64,4° ю. ш.

2004 год: 138,0° в. д. 63,3° ю. ш.

2007 год: 137,41° в. д. 64,29° ю. ш.

2010 год: $137,18^\circ$ в. д. $64,24^\circ$ ю. ш.
2012 год: $137,06^\circ$ в. д. $64,24^\circ$ ю. ш.
Переместился с 1952 г. по 2012 г. на 780 км.

Непосредственные наблюдения за элементами магнетизма в магнитных обсерваториях позволяют выяснить, насколько изменился магнитный момент Земли за последние 150 лет. Если принять величину магнитного момента Земли в 1937 г. за единицу, то в 1836 г. он был равен 1,053, а в 1883 г. $-1,035$. Эти данные показывают, что за столетие произошло уменьшение магнитного момента на 5%, наклон же магнитной оси Земли остался без изменения.

В июне 2014 года в Копенгагене состоялась специальная конференция, на которой участники проекта Swarm обсудили данные, полученные за шесть месяцев. Результаты наблюдений вызывают озабоченность: геомагнитное поле ослабевает и меняет свою конфигурацию.

Группировка Swarm состоит из трёх идентичных спутников, которые находятся на низкой орбите, проходящей через полярные области Земли. Такие параметры орбиты обусловлены конфигурацией магнитного поля Земли, близкой полю эквивалентного магнитного диполя. Два спутника летят на высоте 450 км параллельно друг другу на расстоянии около 100 км. Третий находится на высоте 530 км, и его орбита лежит в другой азимутальной плоскости. Когда спутники движутся по орбите, каждый последующий виток немного смещается по долготе, что позволяет постепенно покрыть орбитами весь земной шар и получить глобальную картину распределения вектора магнитного поля. Каждый аппарат Swarm оснащён высокочувствительными магнитометрами для измерения величины, направления и вариаций магнитного поля, акселерометром - для определения неоднородности скорости движения среды, электростатическим анализатором и приборами для точной ориентации в пространстве.

Swarm - четвёртый космический проект исследования геомагнитного поля. Первые магнитные измерения из космоса произведены в 1980 году американским спутником Magsat, который проработал всего девять месяцев. Затем был довольно длительный период, когда на орбите не было ни одного специализированного геомагнитного спутника. Лишь в 1999 году запустили спутник Oersted и ещё через год - спутник CHAMP. Обе миссии оказались весьма успешными. Первоначально рассчитанный срок их жизни был превышен в несколько раз, - они проработали более десяти лет и дали чрезвычайно большое количество информации. Теперь на смену одиночным космическим аппаратам пришла группировка Swarm (рис. 2).



Рис. 1. Траектории движения магнитных полюсов.



Рис. 2. Проект Swarm.

К ОБРАБОТКЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА

Борисов А.В.

Научный руководитель доцент Виноградов В.Б.
Уральский государственный горный университет

При поисках золота применяют комплекс геофизических методов и детально изучают строение благоприятных к рудоотложению структурно-вещественных комплексов горных пород. При обработке комплексных геофизических наблюдений данные магниторазведки, как и измерения других геофизических полей, нередко переводят в относительный вид. Такая процедура применяется для приведения магнитного поля к диапазону изменения других полей. При истолковании комплекса геофизических методов Г.С. Вахромеев предложил проводить эту операцию для всех полей по формуле для случайной величины, распределенной по нормальному закону. Но распределения измеренных геофизических полей чаще всего отличаются от нормального закона, приведение их к относительному виду необходимо выполнять с учетом этого факта.

Если распределение несимметрично, для оценки центра распределения лучше использовать медиану, а нормировку проводить на величину равную 1/6 всего диапазона изменения измеренной величины (S_0):

$$\Delta T' = \frac{\Delta T_i - \Delta T_{Me}}{s_0}, \text{ где } s_0 = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{6}, .$$

На рис. 1 приведены результаты обработки магнитного и гравитационного полей золоторудного месторождения с учетом вида распределения физического поля. Для одного из профилей изучаемой площади, среднее арифметическое магнитного поля равно -68 нТл, а медиана равна -25 нТл. Стандартное отклонение 444 нТл и 120 нТл соответственно. Диапазон изменения магнитного поля в относительном виде 1.8 и 6. Диапазон изменения гравитационного поля в относительном виде – 4,3.

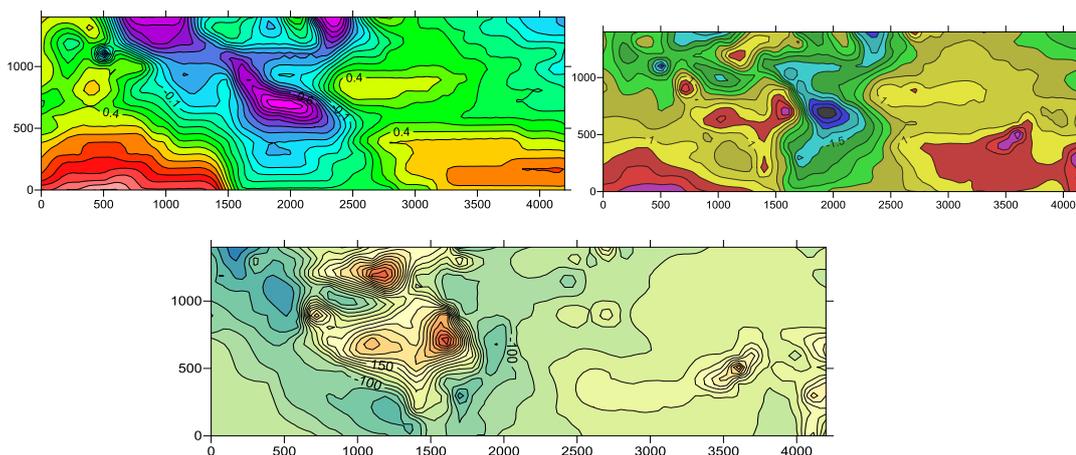


Рис. 1. Карты магнитного, гравитационного и суммы гравитационного и магнитного полей (в относительном виде) по золоторудному месторождению полученные по формулам автора.

Анализ проведенных расчетов приводит к выводу, что центрирование измеренных данных излишняя операция, поскольку знак поля отражает физические свойства горных пород. Все поля лучше приводить к диапазону равному 6 единицам.

В Амурской области при поисках золоторудных месторождений применяют магниторазведку и электроразведку. Распределения кажущегося сопротивления очень сложные.

Для приведения к относительному виду кажущегося сопротивления в качестве центра распределения ρ_k следует выбирать медиану, а нормирующий параметр в знаменателе принять равным $1/6$ величины диапазона его изменения.

В.Н. Сазонов месторождения золота сгруппировал по принадлежности к различным геодинамическим обстановкам и природе источника флюидов. В [2] месторождения сгруппированы по масштабу оруденения, которые также в геофизических полях отражаются различным образом. Геологические классификации не удобны при решении задач распознавания по геофизическим данным. Месторождения Светлинское и Воронцовское относят к разным типам. По характеру геофизических полей они относятся к одной группе.

В [3] отмечено, что метасоматоз порождает мозаичную картину пространственного распределения физических свойств в зависимости от типа и интенсивности гидротермальных процессов и состава материнских пород. Такое распределение физических свойств влечет резкое увеличение дисперсии физических полей (изрезанности) в зонах метасоматоза.

В [2] предпринята попытка создать классификацию эндогенных месторождений по характеру проявления в геофизических полях. Модель представляет собой горизонтальный слой постоянной мощности. Для петрофизических исследований эта классификация оказалась удобной. В этих моделях учитывается изменение свойств в горизонтальном направлении, и совсем не учитываются их изменения в зависимости от глубины. Поскольку для описания физических свойств используются экспоненциальные функции, модели Соловьева не используются при решении прямых и обратных задач. Для создания базы данных золоторудных месторождений необходимо провести типизацию разрезов, создать геофизическую классификацию золоторудных месторождений. Но с учетом возросших вычислительных мощностей выбирается трехслойная модель, в которой каждый слой имеет переменную мощность. Изменчивость физических свойств описывается полиномом невысокой степени и иными функциями, позволяющими получить аналитическое решение прямой задачи. На рис. 2 приведены модели различных типов.

Для полного представления геолого-геофизической обстановки разрезы необходимо дополнить планами. Таким образом, геофизическая модель золоторудного месторождения состоит из геолого-геофизических планов и разрезов петрофизической зональности, отвечающих комплексу геофизических методов.

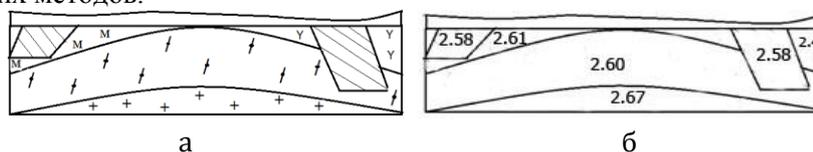


Рис. 2 Геологическая (а), и плотностная (б) модели золоторудного месторождения КЩ-1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Соловьев Г.А. Петрофизическая характеристика эндогенных месторождений. – М: Недра, 1984. – 161 с.
2. Пахомов М.И., Пахомов В.И. Петрофизический метод выделения и оценки метасоматитов. М.: Недра, 1988. – 152 с.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Васькин Н.М.

Научный руководитель Виноградов В.Б.
Уральский государственный горный университет

Впервые гипотезу о существовании гравитационных волн высказал академик Б.Б.Голицын, полагая, что как ускоренно движущийся электрический заряд порождает электромагнитные волны, так и ускоренно движущиеся массы порождают гравитационные волны. Позднее эта идея нашла воплощение в теории относительности А.Эйнштейна, согласно которой гравитационные волны – это «рябь» ткани пространства-времени, распространяющаяся со скоростью света.

Гравитационное и магнитное поля имеют схожую природу. Частота электромагнитных волн, распространяющихся в гравитационном поле, зависит от потенциала гравитационного поля, что видно из формулы:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{\varphi}{c^2} \right)$$

Интенсивность излучения от системы двух масс определяется формулой:

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} = \frac{32k^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{5c^5 a^5} \frac{1}{(1-e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4 \right)$$

Поскольку интенсивность излучения гравитационных волн пропорциональна множителю $k/c^5 = 10^{-50}$, можно говорить о малости ее эффекта. Для того, чтобы эффект был значительным, скорость вращения и массы тел, создающих гравитационные волны, должны быть достаточно большими. Источником излучения может служить, например, система совместно вращающихся черных дыр, приведенных на рисунке 2.

Распространяющаяся гравитационная волна вызывает изменение поперечного волне вектора расстояния между двумя точками. Для представления о том, как волна действует сразу во всех направлениях, ее можно представить в виде плоской и рассмотреть ее влияние на кольцо из пробных частиц. Поляризации плоской волны для такого случая представлены на рисунке 1.

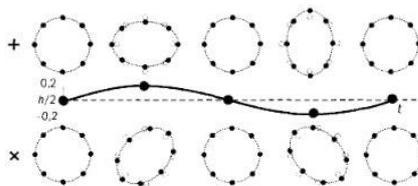


Рисунок 1 - Поляризации плоской гравитационной волны

Основное затруднение при регистрации гравитационных волн – очень слабый эффект. Для их регистрации на данный момент существует два способа: при помощи механических и немеханических детекторов. Принцип работы первых основан на свойстве движения вещества под действием гравитационных волн. В основе действия вторых лежат свойства взаимодействия гравитационного и магнитного полей такие, как, например, действие приливных сил на электромагнитные волны.

Одна из первых попыток обнаружения гравитационных волн была предпринята Джозеф Вебером. Схема созданного им детектора приведена на рисунке 2. Он представляет из себя массивный цилиндр весом 1,2 т. с прикрепленными к нему пьезодатчиками. На паре таких

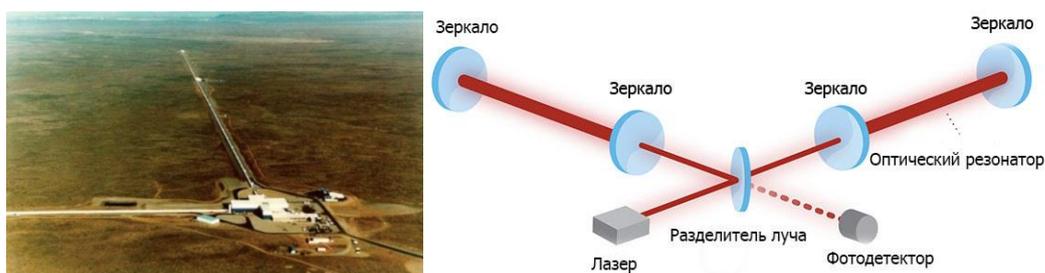
пространственно разнесенных детекторов Вебер провел серию испытаний, однако низкая точность установки не позволила зарегистрировать гравитационные волны.



1 – система совместно вращающихся черных дыр; 2 – схема чувствительной установки.

Рисунок 2

В дальнейшем неоднократно предпринимались попытки обнаружения гравитационных волн. В сентябре 2015 года было объявлено об их обнаружении гравитационно-волновой обсерваторией LIGO. Как сообщалось, волны были зарегистрированы при помощи двух четырехкилометровых интерферометров, внешний вид и схема чувствительной системы которых представлены на рисунке 3. Интерферометр состоит из двух плеч (четырекилометровых труб), в каждом из которых включается лазер, и сложной системы зеркал. Данная установка должна с высокой точностью регистрировать изменение длины плеча при прохождении через него гравитационной волны.



1 – внешний вид установки; 2 – схема интерферометра.

Рисунок 3

Объявление в 2015 году о том, что гравитационные волны были обнаружены, вызывает некоторые сомнения. Для доказательства какой-либо гипотезы должен быть проведен ряд экспериментов, имеющих положительные результаты. В данном случае аномалия была зафиксирована лишь раз и это не дает оснований говорить, был ли полученный в 2015 году результат не случайностью.

Изучение гравитационных волн, возможно, позволит в будущем использовать их свойства для применения в разных областях. Например, в военном или строительном делах для разрушения физических тел, для создания более качественной связи, способной принимать и передавать сигнал на расстояния, большие, чем при использовании электромагнитных волн. Или станет возможным создание лазерных установок, способных резать любое физическое тело, что можно будет применить, допустим, в строительстве тоннелей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. Т. 2. Теория поля. – 7-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1988. 512 с.
2. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. В 3-х т. Т.3. - М.: Мир, 1977. 510 с.

РЕЖИМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТОДОМ ВЭЗ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ И ОТТАИВАНИИ ГРУНТОВ

Поезжаев О.С., Киселёв Д.А.

Научный руководитель Кузин А. В., канд. геол.-минерал. наук, доцент
Уральский государственный горный университет

Влияние изменений температуры и влажности грунтов на их УЭС и прочность столь существенны, что без их учёта оценка несущей способности активного слоя грунтов при размещении в них инженерных сооружений по данным электротометрии невозможна [1, 2]. Поэтому изыскательские электроразведочные работы проводятся в летний период времени. А материалы исследований, проведённых в зимний период, используются, при интерпретации верхней части кривых электрического зондирования, лишь для оценки глубины и интенсивности сезонного промерзания активного слоя. Именно поэтому мы посчитали актуальным изучение динамики изменения УЭС активного слоя грунтов при их сезонном промерзании.

Проведены режимные наблюдения за изменением удельного электрического сопротивления на одной точке при сезонном промерзании и оттаивании грунтов с помощью метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Полученные сведения помогут понять особенности поведения геоэлектрических разрезов в различные сезоны года.

Точка режимных наблюдений за изменением УЭС грунтов при сезонном промерзании располагалась в 20 км к востоку от Екатеринбурга, в 1 км к северу от пос. Исток. Местность равнинная, покрыта луговой травой. Разрез на глубину 2 м вскрыт траншеями под проектируемый водовод. Мощность почвенного слоя составляет 20-30 см. Под ним залегают коричневые пластичные делювиальные суглинки мощностью 0.8-1.4 м. Под ними – элювиальные структурные полосчатые светло-коричневые, желтые глины по гофрированным, дислоцированным в сундучные складки кварц-хлорит-серицитовым сланцам, залегающим почти горизонтально, со слабым (10-20°) падением на юго-восток. Граница между делювием и элювием чаще ровная, но иногда на кровле структурных глин встречаются промоины глубиной до 0.3-0.4 м, заполненные теми же делювиальными суглинками коричневого или тёмно-коричневого цветов.

Кривые ВЭЗ сняты трёхполюсной установкой, разносы питающей линии составляли 0.4, 0.5, 0.7, 1.1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 9 м (рис. 1). Приёмная линия – 0.2 и 0.4 м. Электрод «бесконечность» отнесён на 110 м. Аппаратура измерений – низкочастотная (4.88 Гц) станция ЭРП-5. Первая кривая снята 14.04.2015 г, когда снег сошел. Почва оттаяла на глубину 3-5 см, это определялось по свободному проникновению в почву приёмного и питающего электродов. Установка зондирования для этой кривой – двухэлектродная АМ. Из-за небольшого диапазона шкалы измерителя (до 300 мВ) не удалось определить ρ_k на разносах установки менее 1.1 м. По кривой ВЭЗ видно, что верхняя часть промерзшего зимой (активного) слоя уже подверглась прогреву, так как максимум кажущихся УЭС в более промёрзлых суглинках отмечается на разносе АМ=3 м, то есть, по данным интерпретации кривой, на глубине порядка 1.4 м. УЭС промёрзлого на такую глубину суглинка составляет 620 Ом*м. Глубина подошвы частично оттаявшего суглинка составляет 0.6 м, его УЭС – порядка 177 Ом*м.

Кривая ВЭЗ, снятая через полмесяца, 29.04.2015 г, показывает снижение до 123 Ом*м УЭС верхнего, почти оттаявшего слоя мощностью 0.4 м (на глубине около 10 см электроды встречали почву с рыхлой льдистостью); снижение УЭС мёрзлого слоя в интервале глубин 0.4-1.4 м до 257 Ом*м. Наконец, эта кривая, существенно освободившаяся от влияния промерзания активного слоя на геоэлектрическую характеристику разреза, позволяет определить глубину (4,8 м) до кровли опорного высокоомного слоя выветренных сланцев.

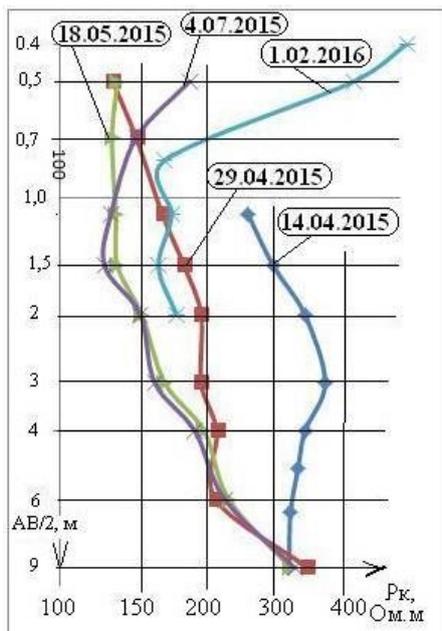


Рис. 1. Кривые ВЭЗ, снятые на одной точке зондирования в различные сезоны года. Описание геологического разреза и физических процессов в активном слое приведены в тексте.

В конце второй декады мая глубина полностью оттаявшего грунта достигла 30 см, а под ним электроды входили в суглинок с рыхлой льдистостью. Между тем, УЭС грунтов до глубины 1.4 м снизилось до 107 Ом*м, до значений, которые на этой глубине остались и летом, в начале июля. То есть, 18.05. 2015 слой с рыхлой льдистостью на глубине более 0.3 м потерял повышенные значения УЭС. Это можно объяснить тем, что ток протекает по электропроводным порам почвы и грунтов, обтекая оставшиеся крупинки льда.

Летняя кривая ВЭЗ (4.07.2015) обнаружила повышение УЭС почвенного слоя мощностью 0.2 м до 290 Ом*м, что можно объяснить аэрацией его пор.

Неискаженные сезонным промерзанием кривые ВЭЗ позволяют сделать вывод, что в точке зондирования УЭС делювиальных суглинков составляет порядка 110 Ом*м, а элювиальных – порядка 200 Ом*м.

Наконец, для исследования УЭС промёрзшего верхнего слоя зондирование выполнено 1.02.2016 г. Мощность снежного покрова к этому времени достигла 0.5 м, причём снег в начале зимы лёг на влажную землю, что обусловило небольшую глубину промерзания. При забивании стальных электродов установлено, что слой почвы мощностью 10 см полностью промёрз. Переходное сопротивление слоя столь велико, что генератор станции

не может выдать в питающую цепь ток. До глубины 0.2 м электрод входил в частично промёрзшую почву и суглинок. На большей глубине грунт был немёрзлый. После прохождения электродом мёрзлого слоя его переходное сопротивление снижается, генератор станции способен выдать в питающую цепь 10, 30 мА. При существенном промерзании почвы в апреле 2015 г. зондирование проводилось при токе 3 мА, так как переходное сопротивление питающего электрода А при забивании его до глубины 25-30 см было высоким.

Таким образом, установлено: 1) мощность активного слоя составляет порядка 1.2-1.4 м; 2) при сезонном промерзании УЭС почвы и делювиальных суглинков увеличивается до 350-950 Ом*м, то есть в 5-10 раз; 3) оттаивание активной части грунтов происходит сверху, при сохранении частичной льдистости слоя его УЭС принимает значения, близкие к УЭС полностью оттаявшего грунта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойков С. А., Снегирёв А. М. Оценка информативности различных методов электрометрии при изучении динамики сезонного промерзания и оттаивания // Геофизические исследования криолитозоны. Научные труды, вып. 1. М., 1995. – С. 166-185.
2. Кузин А. В. Исследования мёрзлых пород Западной Сибири электроразведкой. Научная монография. LAP- publishing. 2012. - 67 с.

ПРЕДПОСЫЛКИ СКВАЖИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ЛИНЕЙНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ – СУБИЗОЛЯТОРОВ

Ермолаев К.М., Ковтун Д.Б.

Научный руководитель Сапожников В.М., доктор геолого-минералогических наук
Уральский государственный горный университет

Известно, что многие рудные образования имеют генетическую и пространственную связь с телами малых интрузий [1 и др.]. Близки к ним по происхождению дайки, мощные кварцевые жилы. Поэтому перспективными для обнаружения руды являются окрестности субинтрузий и выявление последних можно рассматривать как один из этапов поисковых работ.

Для рассмотрения предпосылок обнаружения малых интрузий, имеющих часто форму линейных тел с крутым падением, можно использовать простую модель полуплоскости – изолятора. Решение задачи об аномальном потенциале U_a точечного источника A тока I в пространстве с удельным сопротивлением ρ в присутствии полуплоскости имеет вид:

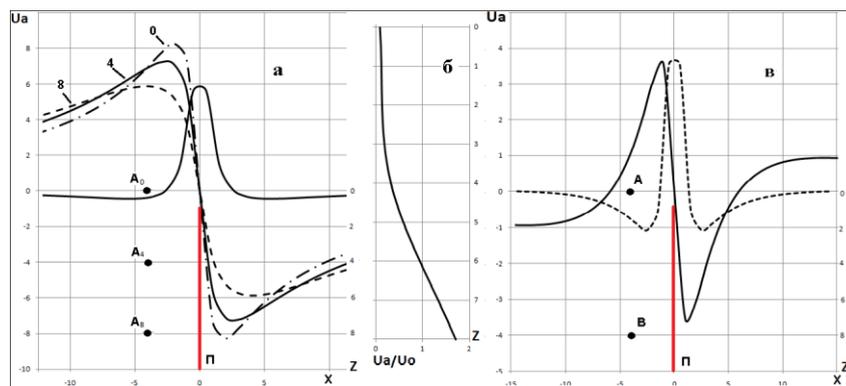
$$U_a = \frac{Q}{\pi} \left(R^+ \operatorname{arctg} \frac{r^-}{2L} + R^- \operatorname{arctg} \frac{r^+}{2L} \right) \quad (1)$$

где

$$Q = \frac{\rho I}{4\pi}; R^+ = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_1}; R^- = \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}; r^- = r_2 - r_1; r^+ = r_2 + r_1; L = \sqrt{\alpha(1 - \cos(\gamma))l(1 - \cos(\theta))};$$

r_1 и r_2 – расстояния до точки измерений поля M от A и его зеркального отражения в полуплоскости соответственно, α и l – соответственно кратчайшие расстояния от A и M до кромки полуплоскости, γ и θ – соответственно полярные координаты точек A и M в цилиндрической системе координат с осью, совпадающей с кромкой полуплоскости.

В случае наличия дневной поверхности и полуплоскости, погруженной вертикально в полупространство с ρ при глубине кромки H , решение (1) усложняется. Вводятся в рассмотрение отображения в плоскости дневной поверхности полуплоскости и источника A и вмещающая среда считается безграничной. Вычисления аномального поля над вертикальной полуплоскостью – изолятором, по профилю вкрест объекта, частично приводимые на рис. 1, позволили сделать следующие выводы.



а- графики аномального потенциала и его градиента поля точечного источника тока над погруженной полуплоскостью- изолятором(шифр кривых - глубина залегания источника) ; б- зависимость относительной аномалии от глубины погружения источника тока; в- график аномального потенциала с применением двухполюсной токовой установки и его градиента.

Рисунок 1- Графики аномального потенциала

1. Присутствие полуплоскости обнаруживается положительной аномалией с экстремумом в районе проекции кромки полуплоскости, смещённого в сторону источника. Наиболее чётко положение кромки полуплоскости фиксируется по экстремуму градиента аномального потенциала ΔU_a . При присутствии в среде нескольких полуплоскостей – изоляторов аномалии могут наблюдаться и на других полуплоскостях.

2. Относительно нормального потенциала U_0 аномалия $\delta U_a = U_a / U_0$ увеличивается с глубиной h погружения точечного источника (рис.1б). Это свидетельствует о преимуществе скважинной электроразведке перед наземной электроразведкой. Дополнительно при погружении источника он удаляется от поверхностных неоднородностей, что обеспечит ослабление их влияния.

3. При смещении профиля по простиранию полуплоскости аномалия ослабляется, но форма её сохраняется.

4. Возможен вариант с применением двухполюсной токовой установки, когда один электрод расположен на дневной поверхности, а второй – погружен в скважину. Аномальный эффект будет слабее, чем в случае однополюсной установки, но основные особенности аномалии, по которым может быть обнаружена полуплоскость, сохраняются.

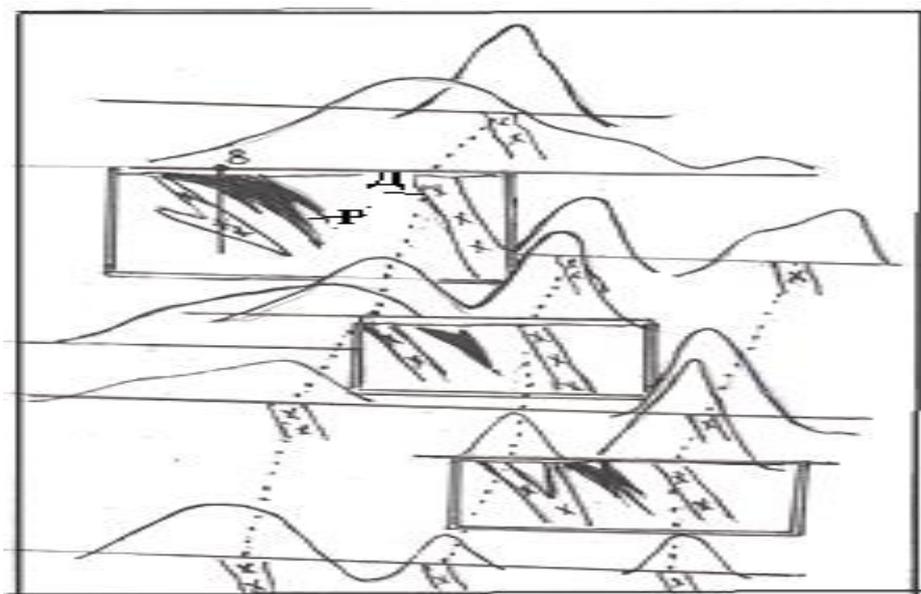


Рисунок 2 - Система профилей с графиками градиента аномального потенциала, фиксирующие дайки габбро-диоритов, являющимися индикаторами рудоперспективных участков в толще эффузивно - осадочных пород (источник тока погружен в скважину 8)

На геологических разрезах, выделенных в рамках, P – обособленные рудные залежи; D – дайки; пунктир – корреляционные оси для даек (по материалам Уральской геолого-съёмочной экспедиции, Р.Ф.Гилаздинова, В.М.Сапожникова)

В качестве практического примера на рис. 2 приводятся результаты картирования мощных субпараллельных даек (малые интрузии), имеющие рудоконтролирующее значение при образовании сульфидных залежей (Приполярный Урал).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванкин П.Ф. Морфология глубоковскрытых магмогенных рудных полей. М.: Недра, 1970.
2. Сапожников В.М. Диск, полуплоскость и плоскость с вырезом, имеющие предельную или конечную электропроводность, в поле точечного источника тока. Известия УГГУ сер. геология и геофизика, вып. 5, 1996.

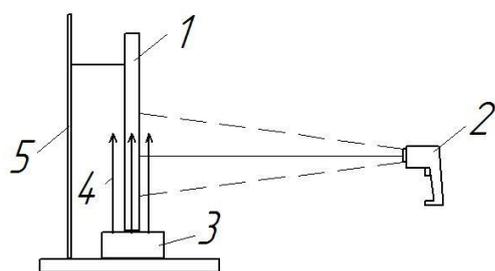
МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОЙ СЪЕМКИ

Хацкевич Б. Д.

Научный руководитель: Демежко Д. Ю. д.г.-м.н.

Институт геофизики УрО РАН

Свободная тепловая конвекция в водонаполненных буровых скважинах возникает, когда вследствие положительного температурного градиента более теплый и, следовательно, более легкий флюид располагается ниже более холодного. Восходящие и нисходящие потоки стремятся выровнять плотностные и температурные неоднородности, однако горные породы поддерживают положительный градиент. Нестационарный характер тепловой конвекции ведет к температурным вариациям, что представляет значительный источник погрешностей при проведении высокоточных температурных измерений в скважинах [2-3], в том числе, температурного мониторинга [2-5]. Для того, чтобы адекватно учитывать влияние конвекции и эффективно ее подавлять необходимо знать ее характеристики - амплитуду, спектральный состав, структуру течений. Попытки оценить параметры свободной тепловой конвекции в скважине предпринимались неоднократно [1-2], однако структурам конвективного течения уделялось существенно меньшее внимание. В работах [5,7] с помощью численного математического моделирования было показано, что система восходящих и нисходящих потоков представляет собой двухвитковую спираль, закрученную вдоль оси скважины. Однако этот результат был получен в очень узком диапазоне чисел Рэлея. Остается неизвестным, реализуется ли такая система течений в буровых скважинах.



1 - керамическая труба; 2 - поток нагретого воздуха; 3 - нагреватель; 4 - инфракрасный тепловизор Testo 875; 5 - штатив;

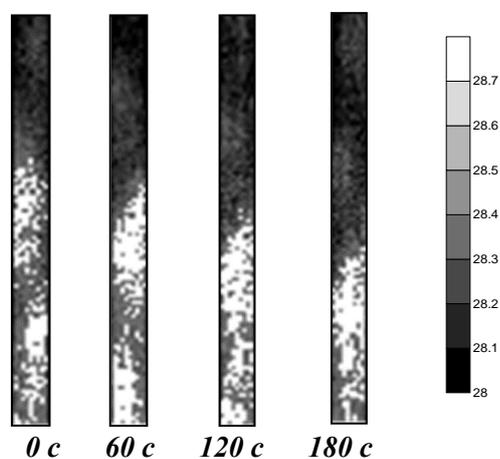


Рисунок 2 Экспериментальные данные, снимки тепловизора Testo 875

В настоящей работе описывается результат исследования свободной тепловой конвекции, возникающей в условиях, приближенных к скважинным. Для этой цели был создан стенд (рис. 1). Буровая скважина имитируется водонаполненной керамической трубой (1). Температурный градиент поддерживается восходящим потоком воздуха (2) от нагревателя (3), а оценка структуры конвективных течений осуществляются путем измерений распределения температуры на внешней стенке трубы с помощью инфракрасного тепловизора (4).

В ходе экспериментов было установлено, что при температурном градиенте $1 - 2 \text{ К/м}$ ($Ra = 250 - 500$) проявляются устойчивые температурные неоднородности на стенках трубы (рис. 2). Положительные температурные аномалии возникают в верхней части исследуемого интервала трубы и медленно опускаются вниз (рис. 2).

Такой характер поведения можно объяснить вращением системы спиральных струй. Более длительное наблюдение позволило оценить параметры спирали и скорость ее вращения. В течение получаса с интервалом 60 секунд производилась инфракрасная съемка одного и того же участка трубы. Тепловые снимки оцифровывались, и для каждого оценивался средний температурный градиент, а затем - отклонение температуры от невозмущенного значения, определяемого температурным градиентом.

Полученный результат представлен в виде плана изоаномал температуры (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что период вращения системы спиральных струй варьирует от 7.1 до 9.1 мин, шаг спирали (расстояние по вертикали между витками) изменяется от 190 до 230 мм. Во всех экспериментах мы наблюдали спиральную систему, вращающуюся в направлении закрутки спирали. Возможно это связано с микроскопическими неровностями внутри трубы.

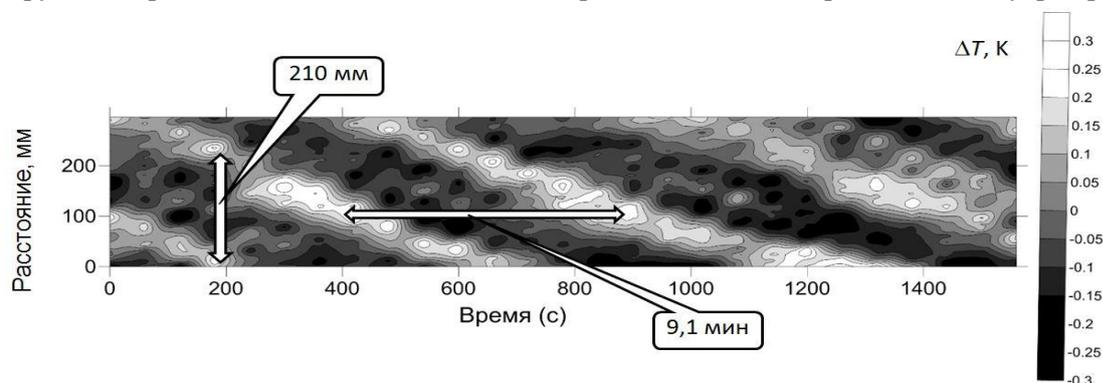


Рисунок 3 План изоаномал (отклонений температуры от невозмущенного значения) в координатах время - расстояние от нижней части исследуемого участка трубы.

Проведенные исследования показали эффективность применения тепловизионной съемки для исследования конвективных течений. Этот метод был предложен нами впервые. В отличие от методов наблюдений конвекции в видимом диапазоне [2,6] он позволяет оценить температурные эффекты через непрозрачную трубу, а в отличие от исследований с погружными датчиками [5,6] – не искажает сам процесс.

Исследования подтвердили ранее высказанные теоретические предположения о спиральном характере восходящих и нисходящих потоков [5,7]. Кроме того было установлено что вся эта система вращается внутри трубы. Оценены параметры конвекции – шаг спирали и скорость вращения. Для дальнейшего изучения свободной тепловой конвекции, необходимо усовершенствовать установку, что позволит нам провести оценку большего числа характеристик и определить их взаимное влияние. Это позволит выработать эффективную методику учета влияния свободной тепловой конвекции на результаты температурных исследований и разработать технические устройства для ее подавления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Девяткин В.Н., Кутасов И.М. Влияние свободной тепловой конвекции и обсадных труб на температурное поле в скважинах // Тепловые потоки из коры и верхней мантии. М., Наука.1973. № 12. С. 99–106.
2. Berthold S., Börner F. Detection of free vertical convection and double-diffusion in groundwater monitoring wells with geophysical borehole measurements //Environmental geology. – 2008. – Т. 54. – №. 7. – С. 1547-1566.
3. Демежко Д. Ю., Юрков А. К., Уткин В. И., Климшин А. В. Температурные изменения в скважине Кун-1 (о. Кунашир), // Доклады академии наук, 2010.Т.434, №6, с. 1-6
4. Cermak V., Safanda J., Bodri L. Precise temperature monitoring in boreholes: evidence for oscillatory convection? Part 1: Experiments and field data //International Journal of Earth Sciences. – 2008. – Т. 97. – №. 2. – С. 365-373.
5. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные // Мониторинг наука и технологии, 2012
6. Остроумов Г. А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. – Гос. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1952.
7. Хорошев А. С., Шахов В. Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО СВОБОДНО КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ В ДЛИННОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦИЛИНДРЕ //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – №. 4-1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ПОРОД МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА

Сыздыкова М.Т.¹, Темирханова Р.Г.²

Научный руководитель : Талалай А.Г., д-р.г.-м. наук

¹ТОО «СП «Южная горно-химическая компания»

²ТОО «ПВ-5»

Одним из характерных физических свойств горных пород, которое широко используется при изучении геологического разреза скважин, является способность горных пород проводить электрический ток. Для изучения таких электрических свойств горных пород как проводимость и диэлектрическая проницаемость применяется электромагнитный каротаж, основанный на измерении элементов электромагнитного поля. Из разновидностей электромагнитного каротажа широкое практическое применение находит индукционный каротаж [1].

Применение индукционного каротажа эффективно в разрезах, где кривые кажущегося сопротивления зондов электрического каротажа искажаются вследствие экранирования прослоями высокого удельного электрического сопротивления горных пород, пересеченных скважиной. Кроме того, индукционный каротаж, в отличие от метода кажущегося сопротивления, позволяет исследовать электропроводности пород в сухих скважинах и скважинах, обсаженных трубами из непроводящих материалов (полиэтилен, ПВХ и т.п.) [2].

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

Ниже приведены данные по технологическому блоку №1-1 месторождения Харасан. Для примера был взят закачной ряд 1-1-3, на котором был проведен индукционный каротаж в период обработки блока (рисунок 1).

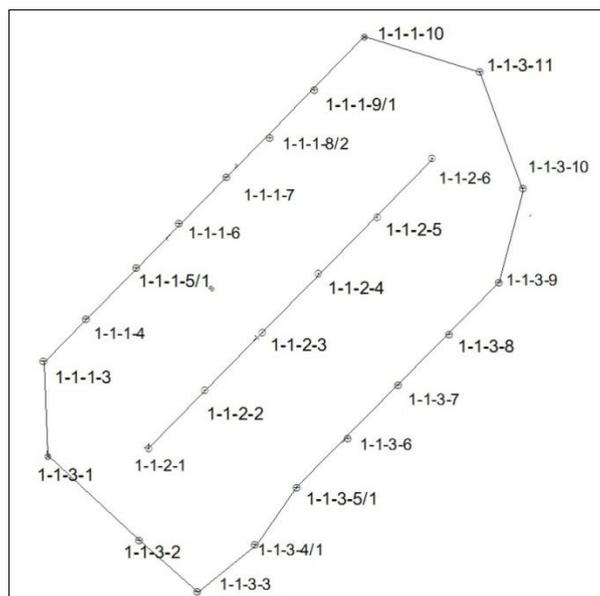


Рисунок 1 – Схема технологического блока 1-1

На рисунке 2 представлены диаграммы индукционного каротажа до и после закисления по нескольким скважинам технологического блока 1-1 месторождения Харасан. Синими линиями показаны данные индукционного каротажа до закисления блока и красными после закисления блока, желтым цветом обозначен интервал закисления ряда, т.е. $M_{эфф}$ технологического ряда. Рисунок 2 наглядно показывает процесс движения выщелачивающих растворов по технологическому блоку (закрашенный желтым цветом участок). Следует отметить, что на данном блоке повторный индукционный каротаж проводился через год после закисления блока.

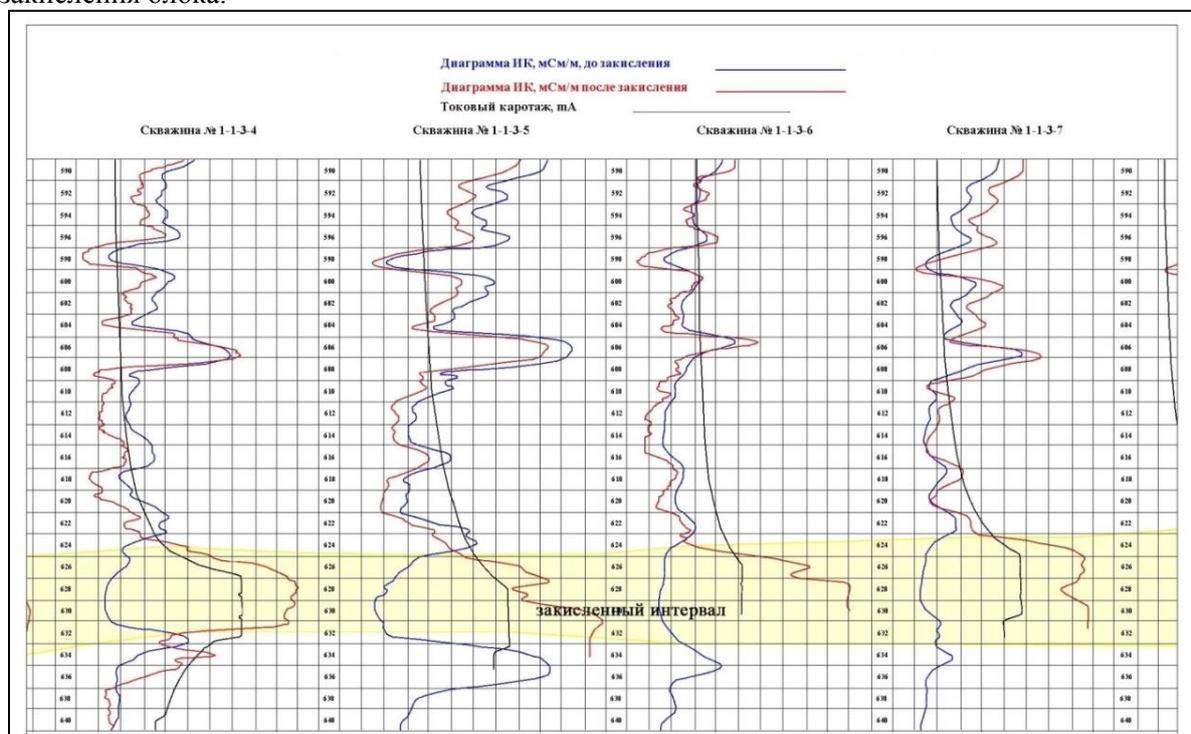


Рисунок 2 - Результаты индукционного каротажа полученные до и после закисления технологического блока 1-1 (на примере месторождения Харасан)

Таким образом, полученные результаты подтверждают целесообразность проведения индукционного каротажа в наблюдательных, контрольных и технологических скважинах после закисления блока. Полученные данные, в свою очередь позволят получить качественно новую информацию о проникновении выщелачивающих растворов в рудовмещающем пласте, их распределении в межскважинном пространстве. В частности:

- определить зоны слабопроницаемых пород и повысить достоверность подсчета запасов.
- изучить динамику распределения выщелачивающего раствора в межскважинном пространстве.
- выявить утечки технологических растворов за контур технологического блока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Режим доступа <http://studopedia.org/1-27362.html>
2. Хайкович И.М. Шестнадцать лекций по геофизическим методам каротажа на месторождениях урана, предназначенных для отработки подземным скважинным выщелачивание, РФ, Санкт-Петербург, 2013., 100 с.
3. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах на пластово-инфильтрационных месторождениях урана, Алматы, 2010
4. Номоконова Г.Г. Геофизические методы исследования месторождений урана: практикум. Томск: Изд-во ТПУ, 2007.- 52 с.

КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИГОНА НА ВОСТОЧНОМ ФЛАНГЕ НОВОБЕРЕЗОВСКОЙ ТОЛЩИ

Зырянова А. В.

Научный руководитель Кузин А. В., канд. геол.-минерал. наук, доцент
Уральский государственный горный университет

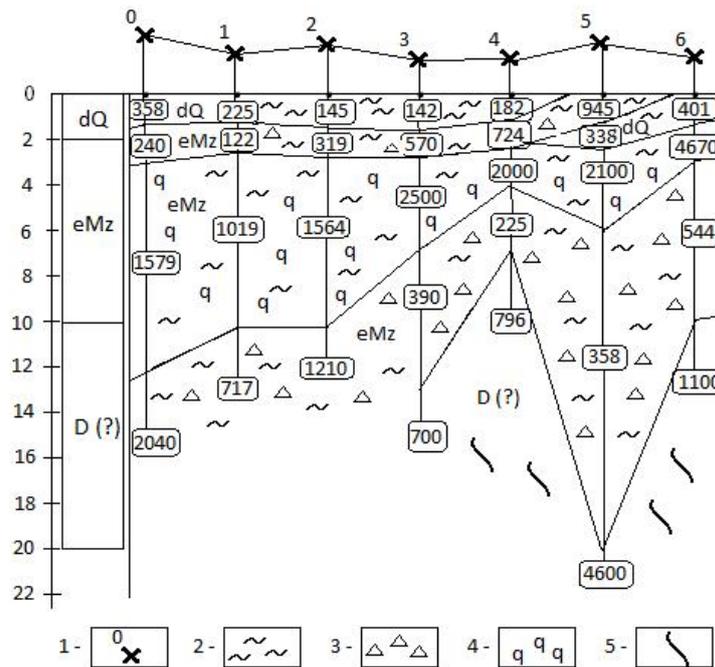
Полигон геофизических исследований располагается к востоку от Екатеринбурга, в 10 км от Шарташского гранитного массива. Толща вулканогенных пород, обрамляющих массив, представленных афировыми базальтами, кремнистыми туффитами, предположительно отнесена к образованиям предостроводужного спрединга среднего-верхнего ордовика [1]. На Среднем Урале такие образования безрудные. Однако известны работы, в которых толщи пород в окрестностях Екатеринбурга отнесены к андезитовой формации девонского возраста, продуктивны на медный и золоторудные месторождения [2]. Ранее в этом регионе комплексы пород различного состава относили к образованиям рудоносных свит силура, девона и карбона [4].

Нами на восточном фланге Новоберезовской толщи были проведены геофизические работы с целью выделения водоносно-тектонических нарушений: площадные электроразведочные работы (800×1200), а также магниторазведочные и радиоразведочные работы на интерпретационном профиле [3]. Природа высокоомной зоны пересекающей весь участок исследований интерпретировалась, как обусловленное субвулканическим телом андезитового состава. После проходки гидрогеологических скважин нами отобран и исследован состав бурового шлама, также заложен геологический шурф, и на одном из локальных участков проведены комплексные геофизические работы: методом срединного градиента (МСГ), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), магниторазведки и радиометрии. Недра исследованного участка сложены тальк-серицит-хлоритовыми сланцами, встречается жильный кварц и сильно измененный железистый карбонат, между поверхностями рассланцевания встречаются признаки сульфидного оруденения. Падение толщи сланцев крутое восточное (70°). Коры выветривания представлены делювиальным суглинком, мощностью 1-1,5 м., дресвой сланцев. В корях выветривания встречаются обломки ожелезненного жильного кварца с включениями амфибола, лимонита и гематита. Подобные образования в корях выветривания характерны для участков золотого полисульфидного или кварцевого оруденения.

Радиационный фон на данном участке составляет 4-6 мкР/ч. Магнитное поле слабоаномальное, в западной части площадки отмечается повышение поля на 100 нТл, расположенное над полосой высокоомных пород.

Работы МСГ выполнены с разносом 220 и 440 м., что определяет оценку кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) на глубинах порядка 20 и 40 м. В крест простираения пород проведены профильные исследования методом - трехэлектродный ВЭЗ, с шагом между точками 10 м. Максимальный полуразнос питающей линии достигал 65 м., что обеспечило выделения геофизических границ на глубинах 14-20 м. (Рис.).

Установлен пятислойный геологический разрез: на глубине более 18-25 м. залегают хлорит-серицитовые сланцы с сопротивлением 700-2200 Ом, в интервале глубин 4-12 м. в западной части профиля ВЭЗ, над региональной зоной (100×1200) высокого сопротивления, выделяется диэлектрический слой со значениями ВЭЗ 1000-2500 Ом, он представлен дресвяно-щебенистым элювием сланцев, включающим гипергенные минералы кварца – опал, халцедон. В восточной части профиля мощность слоя снижается до 1,5 м, он выходит на поверхности и вскрыт разведочным шурфом. В шурфе встречена жила молочно-белого кварца, мощностью 5-10 см., отобраны образцы элювия и проведен минералогический анализ его состава, позволивший установить соотношение в нем глинистой и силикатной составляющей. Значение УЭС элювиально-делювиальных суглинков мощностью 2-3 м. повышенные (140-720 Ом), что указывает на повышенное содержание кварца в составе сланцев.



1 – точки ВЭЗ, 2 – глинистые фракции, 3 – древесно-щебенистые фракции, 4 – силикатные фракции, 5 – хлорит-серицитовые сланцы

Рис. Геоэлектрический разрез по данным ВЭЗ

С зонами повышенного окварцевания сланцев, может быть связана золоторудная минерализация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геологическая карта Урала масштаба 1:200000, лист О-41-XXV, 1999.
2. Кузин А. В. О приуроченности медных и золоторудных месторождений к андезитовой формации // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2002. С. 181-185.
3. Прокошев Д. Е. Геофизические работы для водоснабжения микрорайона «Истокский» в окрестностях Екатеринбурга // Сборник докладов. Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». 2014. С. 99-100.
4. Хоментовский В. В. Геологическое строение и история развития Восточно-Уральского антиклинория на Среднем Урале. Изд-во АН СССР, М., 1958. С. 69.

ОСОБЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ АППАРАТУРЫ СГДТ-НВ

Первушин В.В.

Научный руководитель Талалай А. Г. д-р геол.-мин. наук

Гамма-гамма каротаж является одним из наиболее распространенных методов определения технического состояния скважин. Реализация этого метода осуществляется скважинной аппаратурой типа СГДТ и ЦМ.

Типично стандартные образцы для метрологического сопровождения этой аппаратуры выполняется в виде моделей, состоящие из корпуса, по оси которого, расположены трубы с цементным кольцом, имитирующие конструкции обсадных колонн с разными параметрами (плотность цементного камня $R_{ц}$, диаметр и толщина стальной колонны $H_{к}$). Пространство между корпусом модели и цементным кольцом заполнено материалом, воспроизводящим свойства пласта

Для воспроизведения всего многообразных условий измерений необходимо иметь достаточно большое количество таких моделей.

Этот недостаток устранен в метрологической установке для аппаратуры типа СГДТ, созданной в Центре метрологии и сертификации (ЦМиС) ООО «Газпром георесурс».

Модели выполнены из отдельных базовых блоков, воспроизводящих породу с различной плотностью, и набора сменных зацементированных обсадных колонн с разными параметрами. Цементное кольцо может быть как эксцентричным, так и центрированным относительно оси колонны

В настоящее время изготовлено три базовых блока с плотностью породы $R_{п}=1000$, 1590, 1980 и 2410 кг/м³. Параметры обсадных колонн приведены в таблице.

№	D мм	H, мм	Цементное кольцо	
			Плотность г/см ³	Положение колонны в скважине
1	145.87	7.86	1.967	Коакс.
2	145.86	7.85	1.948	Эксцентр.
3	145.83	7.74	1.000	Эксцентр.
4	145.80	7.82	1.535	Эксцентр.
5	145.87	8.83	1.963	Эксцентр.
6	145.78	5.83	1.967	Эксцентр.
7	145.83	7.74	1000	Коакс.
8	145.83	7.74	1450	Коакс.
9	145.83	7.74	1847	Коакс.

Геометрические параметры труб определялись путем измерения внутреннего диаметра индикаторным нутромером и внешнего - электронным штангенциркулем. Плотность цементного камня объемно-весовым способом по измерениям на пробах, отобранным из каждого замеса цемента.

Погрешность значений толщины стенки стальной колонны не превосходит 0.05мм., а погрешность значений плотности цементного камня не превосходит 50 кг/м³.

Во всех указанных образцах проведены измерения при всех значениях плотности породы. По полученным данным построены градуировочные зависимости для определения плотности цемента и толщины стенки обсадных труб при центрированном положении колонны в скважине. Анализ результатов показал, что в принятом диапазоне изменения параметров ($1000 < R_{п} < 2400$, $1000 < R_{ц} < 2000$ кг/м³) погрешность определения плотности цемента не превосходит 60 кг/м³, а погрешность толщины колонны – соответственно 0.10мм. Отметим, что погрешности достигают максимальных значений в экзотическом случае, когда внешняя среда («порода») – вода.

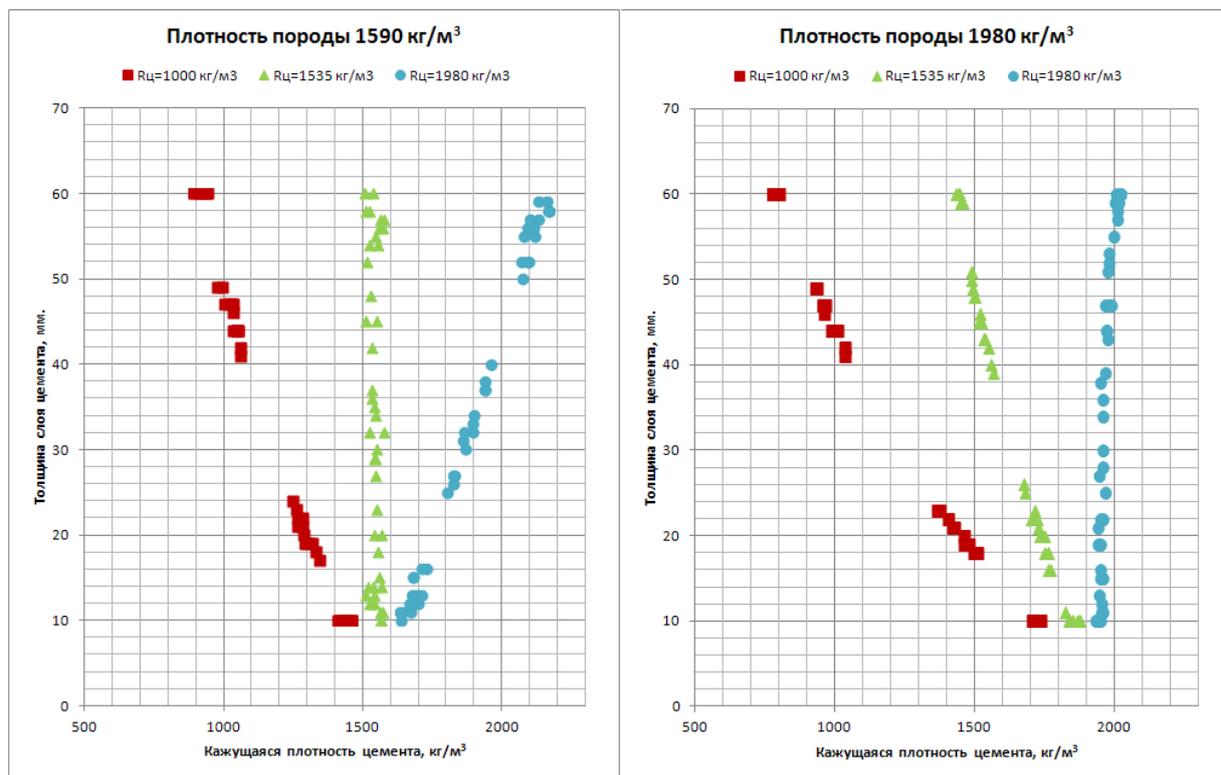
Для сравнения полученные первичные данные были обработаны с использованием градуировочных зависимостей, полученных на стандартных образцах НПФ «Геофизика». На

этих образцах воспроизводятся два значения плотности породы 2090 и 2700 кг/м³ и два значения плотности цемента, соответственно 1830 и 1560 кг/м³. Результаты обработки показали, что при высоких значениях $R_p > 2000$ кг/м³ погрешности определения плотности цемента и толщины колонны находятся в допустимых пределах. При более низких значениях R_p появляется систематическая погрешность, которая при $R_p = 1590$ достигает значений 150-200 кг/м³. Это указывает на то, в градуировочных зависимостях НПФ «Геофизика» недостаточно корректно учитывается влияние плотности породы.

Данные, полученные на стандартных образцах, позволили оценить влияние эксцентриситета колонны на результаты определения параметров обсадки. Результаты, полученные в эксцентричных колоннах обрабатывались с использованием градуировочных зависимостей для центрированных колонн. На рис.1 показана связь определенной таким образом плотности цементного камня («кажущейся плотности») с толщиной слоя цемента. Из рисунка видно, что при заметной контрастности плотности породы и цемента, толщина слоя цемента сильно влияет на значения «кажущейся плотности», а именно, значения, полученные против тонкого и толстого слоя цементного камня различаются на 400-500 кг/м³. Это позволяет уверенно выявлять факт эксцентриситета колонны.

Значения «кажущейся плотности», полученные против тонкого слоя цементного камня (~10мм) определяются практически только плотностью породы и не зависят от плотности материала в затрубном пространстве. Выявление зон, незаполненных цементом возможно лишь при толщине слоя не менее 20 мм.

Таким образом, полученные зависимости позволяют более детально судить о техническом состоянии обсаженных скважин.



СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИИ В ИНДИИ. АНАЛИЗ БИЗНЕС-ИНКУБАТОРОВ ИНДИЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Ярославцева Ю. О.

Научный руководитель Талалай А. Г. д-р геол.-мин. наук

Одной из эффективных форм практического перехода экономики на высокотехнологичный путь развития является создание инновационной инфраструктуры ВУЗов, в частности, бизнес-инкубаторов. Такой опыт давно используют развитые страны, например, Германия, Канада, США – там БИ успешно функционируют уже более 25 лет. С недавнего времени страны БРИКС также активно начинали использовать университеты как катализаторы инновационного предпринимательства. В качестве примера таких проектов я рассматриваю БИ Индии, так как эта страна наряду с Россией проходит сложный этап перехода к постиндустриальной экономике. Стоит отметить, что Индия находится на 66 месте согласно глобальному инновационному индексу, Россия не сильно опережает партнера по БРИКС и занимает 62 позицию. В Индии, как и в РФ, формируется положительный опыт создания инновационной инфраструктуры. В нашей стране пять ведущих ВУЗов (МГУ, НИУ ВШЭ, МГИМО, и др.) уже демонстрируют успешные стартапы созданные в БИ. В Индии наибольшее внимание привлекают три крупнейших университета, которые в течение десятка лет смогли не только создать высокотехнологичные БИ, но и улучшить предпринимательскую среду в своем округе.

Индийский институт технологии. Бизнес –инкубатор SINE

Одним из ярких примеров бизнес-инкубатора при ВУЗе является инновационная инфраструктура в Индийском институте технологии (ИИТ Бомбей). Инкубатор под названием SINE был основан в 2004 году, он образовался в качестве пилотного ИТ-инкубатора, организованного выпускниками института. Таким образом, SINE расширяет роль ИИТ Бомбей, способствуя превращению исследовательских разработок в предприятия. В настоящий момент основной капитал SINE предоставлен Университету правительством Индии и выпускниками ВУЗа. SINE намерен увеличить этот капитал до 1 млрд. рупий за счет участия коммерческого капитала. Процесс формирования малого инновационного предприятия длится около 3 лет, на протяжении которых стартап обеспечивается «зародышевым» венчурным капиталом. Деньги выделяются в форме займа с субсидированной ставкой (с отсроченными платежами), либо в форме паевого капитала. SINE инвестирует 40 тыс. долларов в уставный капитал стартапа взамен на 7-процентный пай. В будущем планируется вкладывать в каждый стартап не менее 60 тыс. долларов. При этом финансирование самого инкубатора SINE осуществляется через государственные гранты.

Университет КИТ. Бизнес-инкубатор КИТТВИ

Университет КИТ располагается в штате Орисса. По инициативе ВУЗа и при поддержке Министерства науки и технологии Индии в 2008 году был запущен технологический бизнес-инкубатор КИТ-ТВИ. БИ Университета предлагает помещения для инкубации, а также создает подопечным стартапам защищенную, инновационную предпринимательскую среду.

Университет Amity. Бизнес-инкубатор Amity

Университет Amity в Бомбее основал инкубатор инноваций для того, чтобы помочь одновременно образованию и промышленности. Этот проект поддерживается консультационным советом, состоящим из промышленников, венчурных бизнесменов, технических специалистов и руководителей. Его цель – поддержка инновационных стартапов в округе Ноида. За время своей работы преподаватели и студенты Amity создали 42 успешных стартапа. При этом БИ успешно взаимодействует с инкубаторами в Европе, США и Азии.

Проанализировав три ведущих инкубатора при университетах Индии, можно сделать вывод, что по форме и спектру предоставляемых услуг бизнес-инкубаторы не отличаются от российских. Но у БИ Индии есть ключевая особенность – одними из основных критериев отбора проектов на финансирование являются их социальная ценность и социальное благо.

Правительственные структуры через БИ инвестируют в рискованные инновации, для которых рынка либо еще не существует, либо он сильно ограничен, такие инновации называют низовыми. Также стоит отметить, что в случае с Индией формирование и развитие системы поддержки низовых инноваций произошло именно в университете. Такие технологические проекты существенно повышают качество жизни людей и занятость среди беднейших слоев населения (например, производство витамина С из плода аناкардии, онлайн здравоохранение и другое). При этом стартапы разрабатываются в соответствии с потребностями и социально-экономическими особенностями штата, где находится университет.

Также одним из продуктивных решений, которые помогают повышению эффективности БИ, является то, что индийские ВУЗы стараются доверять руководство инкубатором людям с финансовым и инвестиционным опытом. Например, Университет технологии Бомбея (ИИТ-Б) нанял инвестиционного банкира на должность генерального директора SINE. То есть инновационную инфраструктуру вуза возглавил человек с огромным опытом в сфере финансов и привлечения инвестиций.

Кроме того, университетским стартаперам идет на пользу активное сотрудничество с бизнес-инкубаторами других стран, благодаря тесному взаимодействию осуществляется обмен опытом, более того, многие инновационные продукты при содействии БИ патентуются в США.

Все эти особенности Индийских БИ могут стать хорошим примером для Инкубаторов Российских университетов. Особо подчеркну, что вопросы обеспечения доступности результатов экономического, научно-технического развития максимальному числу населения, которое находится за чертой бедности, стали основными в выборе инновационной стратегии Индии. На мой взгляд, Российская стратегия инновационного развития так же должна учитывать интересы всех групп населения и финансировать инновации исходя из их социальной значимости.

УДК 550.832.54

ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Исянгулов Р. У.

Научный руководитель Талалай А. Г. д-р геол.-мин. наук
ОАО «Когалымнефтегеофизика»

В настоящее время данные традиционных методов геофизических исследований скважин (ГИС) позволяют оценить следующие основные фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) горных пород: коэффициент пористости, проницаемости, водонасыщенности и др. Одним из важных параметров, характеризующим перспективность коллектора с точки зрения эксплуатации и повышения нефтеотдачи пласта, является проницаемость. Корректность определения данного параметра обеспечивает достоверность прогноза дебита скважины в частности и адекватность гидродинамической модели нефтегазового месторождения в целом.

Для оценки проницаемости в ГИС традиционно применяется связь общей пористости и проницаемости, установленной по данным керновых исследований. Коэффициент корреляции данной связи имеет низкие значения, так одному значению коэффициента пористости соответствует до 2-3-х декад проницаемости [1]. В тоже время связь эффективной пористости с проницаемостью более тесная, так как данный параметр характеризует только объем пор, обеспечивающих фильтрацию флюида при создании депрессии.

Единственным широко применяемым методом из ГИС, позволяющий оценить эффективную пористость, является ядерно-магнитный каротаж в сильном поле (ЯМК). Данная способность метода сделала его незаменимым и столь востребованным. Эмпирическая формула Тимура-Коатса с использованием эффективной пористости успешно применяются для расчета

проницаемости во всем мире [4]. Конечно, для лучшей корреляции требуется калибровка по керну, но результат значительно лучше, чем при использовании рутинных методов ГИС [1].

Эффективную пористость также предлагается оценить с помощью технологии импульсного нейтронного каротажа (ИНК), а далее перейти на проницаемость и остаточную водонасыщенность. В отличие от ЯМК данная технология может применяться также и в обсаженном стволе скважины. Метод обладает лучшим вертикальным разрешением и менее чувствителен к кавернозности ствола скважины.

Анализ материалов исследования проводился на основе данных, полученных прибором ПИЛК-76 [3]. Данная аппаратура предназначена для исследования скважин с открытым и обсаженным стволом методом импульсного нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам. В приборе используется газонаполненная генераторная трубка, способная излучать нейтроны (ИННК) на высокой частоте. Далее на двух расстояниях от импульсного нейтронного источника детекторы нейтронов регистрируют скорость счета тепловых нейтронов во время нейтронного импульса и временные спектры спада потока тепловых нейтронов после окончания нейтронного импульса. В результате первичной обработки и введения поправок за технические условия проведения исследования рассчитываются макросечение захвата нейтронов и водородосодержание (нейтронная пористость). С целью привязки с геологическим разрезом используется канал гамма-каротажа.

Предпосылкой применения метода ИННК для литологических задач является высокая дифференциация величины макросечения поглощения тепловых нейтронов в зависимости от коллекторских свойств разреза [2]. При условии, что водород входит только в состав связанной воды и подвижного флюида, измеряя общее водородосодержание породы и макросечение поглощения тепловых нейтронов в ней, можно вычислить эффективную пористость коллектора.

Суть методического обеспечения заключается в декомпозиции модели горной породы на составляющие и решении системы уравнений. Так для условия терригенного коллектора модель породы можно представить в следующем виде:

$$I = V_{ск} + V_{гл} + K_{П,эфф} \quad (1)$$

где $V_{ск}$ – объем скелета породы с учетом физически связанной им воды;

$V_{гл}$ – объем глинистых минералов с учетом физически связанной ими воды;

$K_{П,эфф}$ – эффективная пористость.

Для скелета породы определены параметры: $K_{П,ск}$ – пористость по НК, $\Sigma_{ск}$ – сечение захвата.

Для глины соответственно известны $K_{П,гл}$ и $\Sigma_{гл}$, для флюида – $\Sigma_{ф}$.

Предполагаем, что в коллекторе соотношение между объемом глин и связанной (физически и химически) воды сохраняется постоянным и равно этому соотношению в пласте глин. Аналогичное предположение делаем и относительно параметров скелета породы. Тогда можно записать следующие выражения:

$$\Sigma_a = \Sigma_{ск} \times V_{ск} + \Sigma_{гл} \times V_{гл} + \Sigma_{ф} \times K_{П,эфф} \quad (2)$$

$$K_{П,НК} = K_{П,ск} \times V_{ск} + V_{гл} \times K_{П,гл} + K_{П,эфф} \quad (3)$$

где Σ_a – измеряемое значение сечения захвата породы по ИНК-Л;

$K_{П,НК}$ – измеряемое значение пористости по НК (водородосодержание).

Система уравнений (2) и (3), дополненная уравнением баланса (1), обеспечивает расчет эффективной пористости

$$K_{П,эфф} = \{ \Sigma_a - \Sigma_{гл} - (\Sigma_{ск} - \Sigma_{гл}) \times (K_{П,НК} - K_{П,гл}) / (K_{П,ск} - K_{П,гл}) \} / \{ \Sigma_{ф} - \Sigma_{гл} - (\Sigma_{ск} - \Sigma_{гл}) \times (1 - K_{П,гл}) / (K_{П,ск} - K_{П,гл}) \} \quad (4)$$

Для перехода к проницаемости можно воспользоваться формулой Тимура-Коатеса, и использовать данный подход как базовый. Для расчета остаточной воды оперативно можно использовать стандартный подход с использованием эффективной пористости. Однако, очевидно, что наилучший результат будет достигнут при использовании связи эффективная пористость-проницаемость и эффективная пористость-остаточная вода, полученной по данным исследования керна.

Предлагается рассмотреть практический пример применения данного подхода для расчета ФЕС. На рисунке 1 представлены результаты исследования стандартного комплекса ГИС, ЯМК и ИННК. Отмечается хорошая корреляция расчетных петрофизических параметров по методу ИННК с данными стандартного комплекса и ЯМК. Стоит также отметить отсутствие

искажающего влияния кавернозности ствола скважины и лучшее вертикальное разрешение по сравнению с аналогичными параметрами по ЯМК.

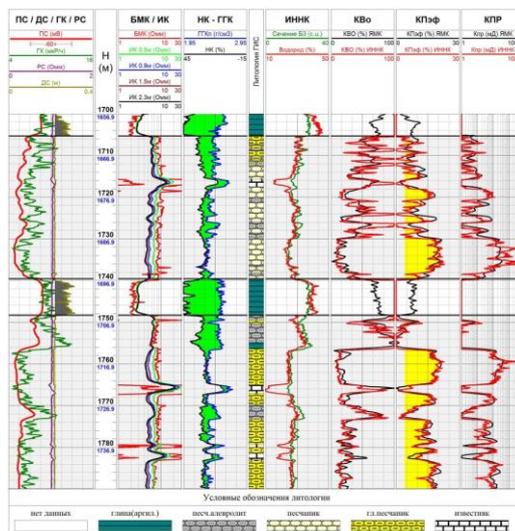


Рисунок 1 – Сравнение информативности данных ГИС, ЯМК и ИННК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.В. Хабаров, Я.Е. Волокитин. Оценка проницаемости терригенных пластов-коллекторов по керну, каротажу и промысловым данным. НТВ Каротажник № 12 (189) 2004. Тверь.
2. К.В. Коротков, В.А. Велижанин. Оценка эффективной пористости коллекторов по комплексу импульсного и стационарного нейтронных методов ГИС. НТВ Каротажник № 3 2011. Тверь.
3. Методические рекомендации по проведению импульсного нейтронного каротажа аппаратурой ПИЛК и обработке результатов измерений. 2015. Тверь.
4. Allen D., Flaum C., Ramakrishnan T.S., Bedford J., Castelijns K., Fairhurst D., Gubelin G., Heaton N., Minh C.C., Norville M., Seim V., Orichart T., Ramamoorthy R. Trends in NMR Logging. Oilfield Review, Autumn 2000.