

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВГУИТ им. В.В.Куйбышева)

Изучение зольности угольных пластов по данным геофизических исследований скважин

Методические указания к практическим и самостоятельным работам
для студентов специальности 130201

Владивосток
2005

Одобрено методическим советом университета

УДК 550.834

Селиванова Т.В. Изучение зольности угольных пластов по данным геофизических исследований скважин: Методическое указание. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005 – с.

Изложена методика изучения зольности угольных пластов в углеразведочных скважинах. А также способы оценка достоверности получаемых результатов.

Предназначены для студентов дневной формы обучения при выполнении практических, самостоятельных работ по курсу «Геофизические исследования скважин» и для дипломного проектирования по соответствующей тематике.

Составила доцент кафедры разведочной геофизики, канд.геол.-минер.наук.
Т.В.Селиванова

ISBN Печатается с оригинал-макета,
подготовленного автором

© Т.В.Селиванова
© Изд-во ДВГТУ, 2005

Введение

Зольность является одним из важнейших качественных показателей угольных пластов, определяющих их кондиционность при подсчете запасов. В то же время это один из наиболее изменчивых показателей как по площади распространения, так и по разрезам угольных пластов. Абсолютная погрешность определения зольности в соответствии с требованиями угольной промышленности не должна превышать 3% для углей технологических марок и 5% – для энергетических.

Под зольностью угля понимается выраженное в процентах отношение массы негорючего остатка к массе исходного угля после ее сжигания при температуре 800⁰ С. Различают внутреннюю (материнскую) и внешнюю зольность угольного пласта. Внутренняя зольность обусловлена минеральными примесями самого угольного пласта. Внешняя зольность угольных пластов связана с минеральными примесями внутрипластовых породных прослоев. При разведке угольных месторождений изучают среднюю зольность (или просто зольность) угольных пластов, под которой понимается средневзвешенная зольность пласта с учетом засорения внутрипластовыми породными прослоями.

Основным способом определения зольности угольных пластов, применяемым в углеразведке, является лабораторный анализ поднятого керна. Недостатки этого способа определения зольности связаны, прежде всего с неполным выходом керна, нарушением его цельности, а также с его загрязнением буровым раствором.

Точность определения зольности может быть повышена за счет использования методов геофизических исследований скважин, на основании различия физических свойств углей и вмещающих пород. Эмпирические корреляционные связи, используемые для определения зольности угольных пластов, устанавливаются на литолого-геофизических участках и ступенях.

Зольность углей связана с количеством минеральных примесей, а также их составом. Масса негорючего остатка (золы), остающаяся после сжигания угля, всегда меньше массы минеральных примесей на 5-10%. Объясняется это тем, что глинистые породы (каолинит, иллит, галлуазит, серицит и др.), составляющие основу минеральных примесей, при сжигании угля теряют кристаллическую воду, а пирит и карбонаты разлагаются соответственно на твердые негорючие окислы металлов, а также сернистый и углекислый газы, которые улетучиваются. В результате связь между зольностью и содержанием минеральных примесей в общем виде носит сложный характер, и только в частном случае, когда состав минеральных примесей постоянен, изменение зольности углей пропорционально изменению содержания минеральных примесей. Поэтому при определении зольности углей по их физическим свойствам влияние состава минеральных примесей также необходимо учитывать. Это достигается путем изучения закономерностей изменения состава минеральных примесей как по площади, так и по разрезу разведываемого участка на стадии предварительной разведки. В пределах участка выделяют отдельные площади, а по разрезу -

группу пластов или отдельные пласты, в пределах которых наблюдается постоянство состава минеральных примесей. Границы выделенных зон и интервалов разреза с постоянным содержанием минеральных примесей в углях обычно совпадают с границами геолого-геофизических участков и ступеней. Поэтому в пределах указанных ступеней и участков изменение физических свойств угля и углистых пород будет зависеть только от количества минеральных примесей и, соответственно, тесно связано с зольностью. Ниже будут рассмотрены основные приемы определения зольности угольных пластов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Определение зольности угольных пластов по грунтоносным пробам.

Отбор проб из угольных пластов при геофизических исследованиях скважин позволяет использовать их при комплексной геолого-геофизической интерпретации с целью определения как дифференциальной, так и средней зольности угольных пластов практически любого строения.

При простом строении угольного пласта и однородном петрографическом составе, а также при горизонтальном его залегании интервал отбора проб и их количество не оказывают влияния на точность определения зольности пласта. При сложном строении пласта на погрешность определения его средней зольности по грунтоносным пробам существенное влияние оказывает шаг их отбора. Таким образом, для получения наиболее достоверных данных о зольности угольных пластов по грунтоносным пробам к их отбору и обработке получаемых материалов предъявляются жесткие требования, которые сводятся к следующему:

1. Перед проведением грунтоносных работ на скважине следует составить схему отбора проб из каждого угольного пласта, основываясь на разрезе, составленном по данным детализационного комплекса геофизических методов.

2. Тщательно проверить и зафиксировать на схеме прострелов расстояния между бойками в грунтоносной сборке, и особенно между секциями, из которых они состоят.

3. Для определения зольности угольных пластов сложного строения шаг отбора проб должен составлять не более 5 см, а при использовании полученных данных в качестве опорных он должен быть уменьшен до 2-3 см.

4. Глубину отбора следует устанавливать по геофизической диаграмме, регистрируемой в процессе установки грунтоносной сборки по стволу скважины.

5. Каждая проба при извлечении ее из бойка должна очищаться сначала от бурового раствора, а затем от породных примесей.

6. В паспорте пробы необходимо указать номер грунтоносной сборки (рейса спуско-подъема) и порядковый номер бойка в сборке.

7. Анализ зольности необходимо проводить по каждой пробе отдельно, исключение составляют пробы, отобранные из однородных угольных

пластов простого строения, которые можно объединить в одну общую пробу, если они не загрязнены шламом.

Окончательная глубина отбора проб должна устанавливаться после корректировки первоначальной (определенной по скважине), которая проводится путем сопоставления результатов анализа зольности с разрезом пласта, составленным по данным геофизики. Корректировка глубин отбора проб производится после получения результатов анализов их зольности. Смешивая одновременно все пробы, поднятые в одной грунтоносной сборке, по разрезу пласта, на небольшом расстоянии от их первоначальных глубин, следует добиться качественного соответствия значений зольности проб строению пласта. Надежность такого способа корректировки глубин отбора грунтоносных проб повышается с увеличением количества бойков в одной сборке. Для практики достаточно, чтобы их было не менее шести. Установление правильного местоположения отбора проб в разрезе угольного пласта имеет решающее значение, поскольку только в этом случае может быть правильно определена зольность как отдельных пачек и прослоев, так и пласта в целом. При корректировке следует учесть, что редкие пробы могут попасть в отдельные линзы пород, которые не отмечаются на геофизических диаграммах. Такие пробы следует отбраковывать и исключать при определении средней зольности пласта.

Зольность угольных пластов простого строения при анализе каждой пробы в отдельности определяется упрощенно как среднеарифметическое из зольности каждой грунтоносной пробы по формуле:

$$A_{cp}^d = \frac{A_1^d + A_2^d + \dots + A_n^d}{n} = \frac{\sum_i^n A_i^d}{n}, \quad (1)$$

где A_{cp}^d – средняя зольность пласта, $A_1^d \dots A_n^d$ – зольности грунтоносных проб, n – количество грунтоносных проб.

В природе угольные пласты большей частью имеют сложное или очень сложное строение. Поэтому упрощенный способ определения средней зольности угольных пластов по грунтоносным пробам имеет существенные ограничения в его использовании. Средняя зольность пластов сложного строения определяется как средневзвешенная из зольности всех слагающих его пачек и прослоев с учетом их мощности и плотности по формуле

$$A_{cp}^d = \frac{A_1^d h_1 g_{m1} + A_2^d h_2 g_{m2} + \dots + A_n^d h_n g_{mn}}{h_1 g_{m1} + h_2 g_{m1} + \dots + h_n g_{mn}} = \frac{\sum_i^n A_i^d h_i g_{mi}}{\sum_i^n h_i g_{mi}}, \quad (2)$$

где $A_1^d \dots A$ – зольность угольных пачек и породных прослоев, $h_1 \dots h_n$ – мощность этих пачек и прослоев, $g_{m1} \dots g_{mn}$ – минералогическая плотность этих пачек и слоев, n – количество грунтоносных проб.

Зольность угольных пачек и природных прослоев определяется как среднеарифметическая зольность всех грунтоносных проб. Мощность прослоев и пачек устанавливается по диаграммам детализационного комплекса геофизических методов. Минералогическая плотность угольных пачек и породных прослоев определяется с помощью корреляционной связи ее с зольностью (рис.1).

Связь устанавливается по лабораторным данным для месторождения, участков разведки или групп пластов, в пределах которых состав минеральных примесей в углях может быть принят практически постоянным.

Определение зольности угольного пласта сложного строения по грунтоносным пробам показан на примере, приведенном на рис. 2.

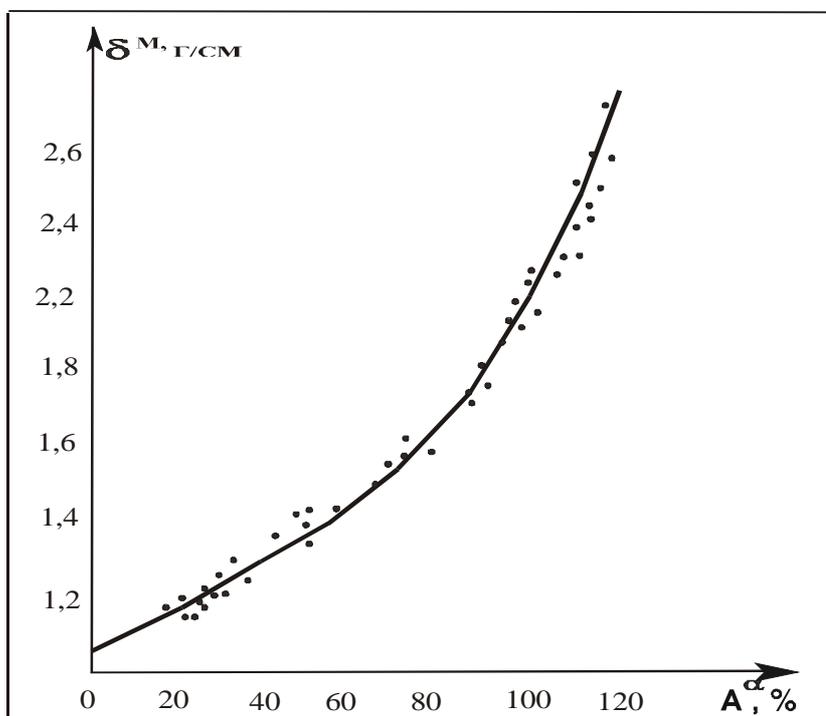


Рис.1. Связь минералогической плотности углей с их зольности

В пласте по геофизики выделены три угольные пачки средне- и низкозольного угля, один породный прослой и один прослой высокозольного угля. Мощность угольных пачек и прослоев четко определена по диаграммам детализационного комплекса. Из угольного пласта по всей его мощности отобраны грунтоносные пробы, причем из каждой пачки и прослоя поднято не менее двух проб. Средняя зольность пласта получилась равной 21,3%. По результатам дифференциального определения зольности по керну ее средняя величина составляет 20,5%. Таким образом, абсолютное расхождение в определении зольности по грунтоносным пробам и керну составляет 0,8%.

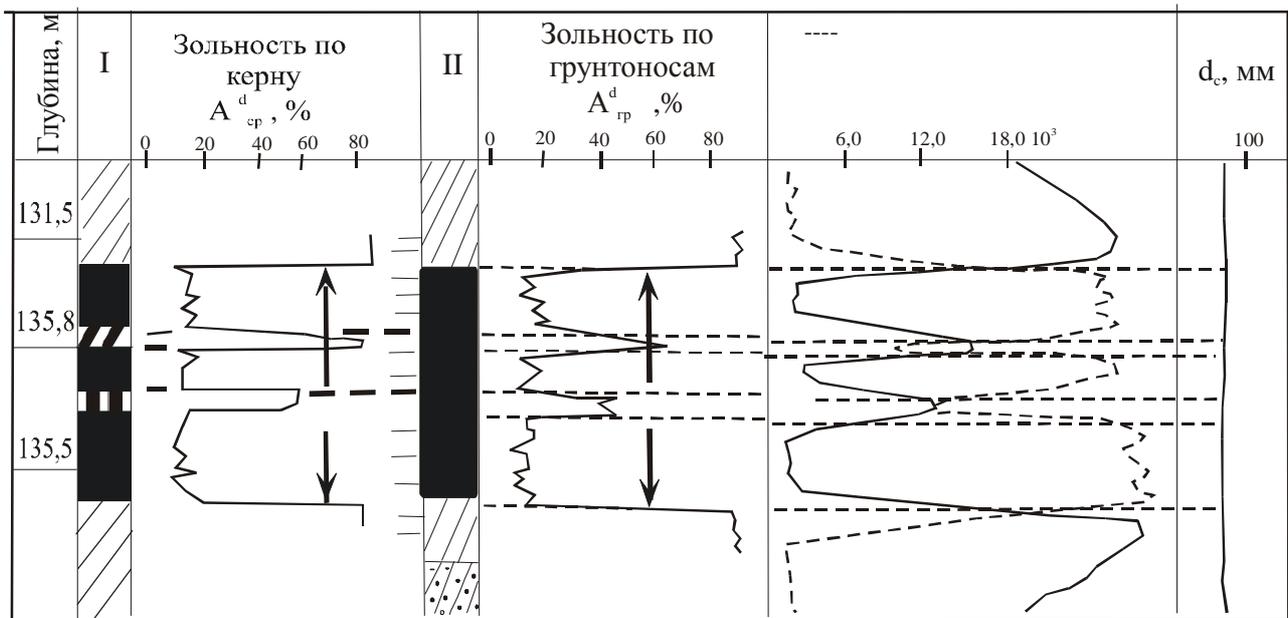


Рис. 2. Пример определения зольности угольного пласта сложного строения по грунтоносным пробам:

1 – уголь, 2 – высокозольный уголь, 3 – аргиллит среднеуглистый, 4 – аргиллит высокоуглистый, 5 – аргиллит, 6 – алевролит с глинистым цементом, 7 – керн отсутствует

Анализ результатов определения средней зольности угольных пластов по грунтоносным пробам показывает, что получаемые при эти абсолютные погрешности не превышают 1,5% при условии, что интервал отбора проб составляет 2-3 см.

Итак, для определения зольности угольных пластов по грунтоносным пробам необходимо выполнить следующее:

1. По данным грунтоносного опробывания провести корректировку глубин отбора проб, для чего нужно сместить пробы по разрезу пласта до соответствия значений зольности проб строению пласта по геофизическим данным.
2. Определить глубину отбора проб, мощность слоев и пачек.
3. Определить зольность по керну отдельных проб.
4. По диаграммам гамма-активности определить строение пласта.
5. Рассчитать среднеарифметическую и средневзвешенную зольность угольных пластов.
6. Результаты обработки оформить в виде таблицы (табл.1).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Определение зольности угольных пластов по данным кажущихся сопротивлений

Дифференциации на диаграмм электрических и радиоактивных методов, зарегистрированные на угольных пластах, вызываются в основном изменения

ми их зольности. Поэтому все геофизические методы, по которым выделяются угольные пласты в разрезе скважин, могут использоваться для определения зольности пластов.

В основе всех методик определения зольности угольных пластов лежат существующие корреляционные связи ее с физическими свойствами углей, которые устанавливаются для конкретных участков разведки. Буроугольные пласты отличаются от вмещающих пород песчано-глинистого состава высокими удельными электрическими сопротивлениями и низкими значениями плотности, скоростью распространения упругих волн, естественной радиоактивностью, эффективным атомным номером и электропроводностью. Естественно, все геофизические методы, основанные на измерении этих свойств по разрезу пласта, могут использоваться для определения зольности углей.

Исследованиями установлена тесная корреляционная связь между величинами относительных геофизических параметров и зольностью. В качестве параметров связи взяты отношения величины амплитуды аномалии против угольной пачки или породного прослоя к среднему значению этого параметра против пласта, выраженные в процентах:

$$A_{от} = \frac{A_{xn}}{A_{x.ср.пл.}} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где $A_{от}$ – относительный параметр, A_{xn} – значение регистрируемого параметра, отсчитанное на соответствующей диаграмме против угольного или породного прослоя, $A_{x.ср.пл.}$ – среднее значение этого параметра против угольного пласта.

По материалам опорных пластопересечений, по которым проведено определение зольности по керну или грунтоносным пробам, составляются графики корреляционной связи относительных параметров с зольностью. В дальнейшем они используются в качестве палеток для определения зольности пачек и прослоев угольных пластов. Если в угольном пласте имеется хотя бы одна пачка с достоверно известной зольностью, то определить зольность всех остальных пачек не представляет больших трудностей. На рис.12 приведен пример построения корреляционных зависимостей. Если в угольном пласте по грунтоносным пробам достоверно определена зольность нескольких пачек, то за опорную может быть принята любая из них. Остальные пачки используются для контроля правильности определения зольности.

Из-за больших погрешностей определения корреляционная связь между удельным электрическим сопротивлением и зольностью углей не может использоваться в практической работе. Наиболее тесно связаны с зольностью асимптотические кажущиеся сопротивления и приведенные кажущиеся сопротивления. Приведенные кажущиеся сопротивления ρ_k^{np} – это кажущиеся сопротивления пластов ρ_k^n , замеренные градиент-зондом, приведенные к некоторым стандартным условиям – к одному значению мощности пласта h , диаметра скважины d , угла падения α , а также к отношению сопротивлений вмещающих пород и бурового раствора $\rho_{вм}/\rho_p$.

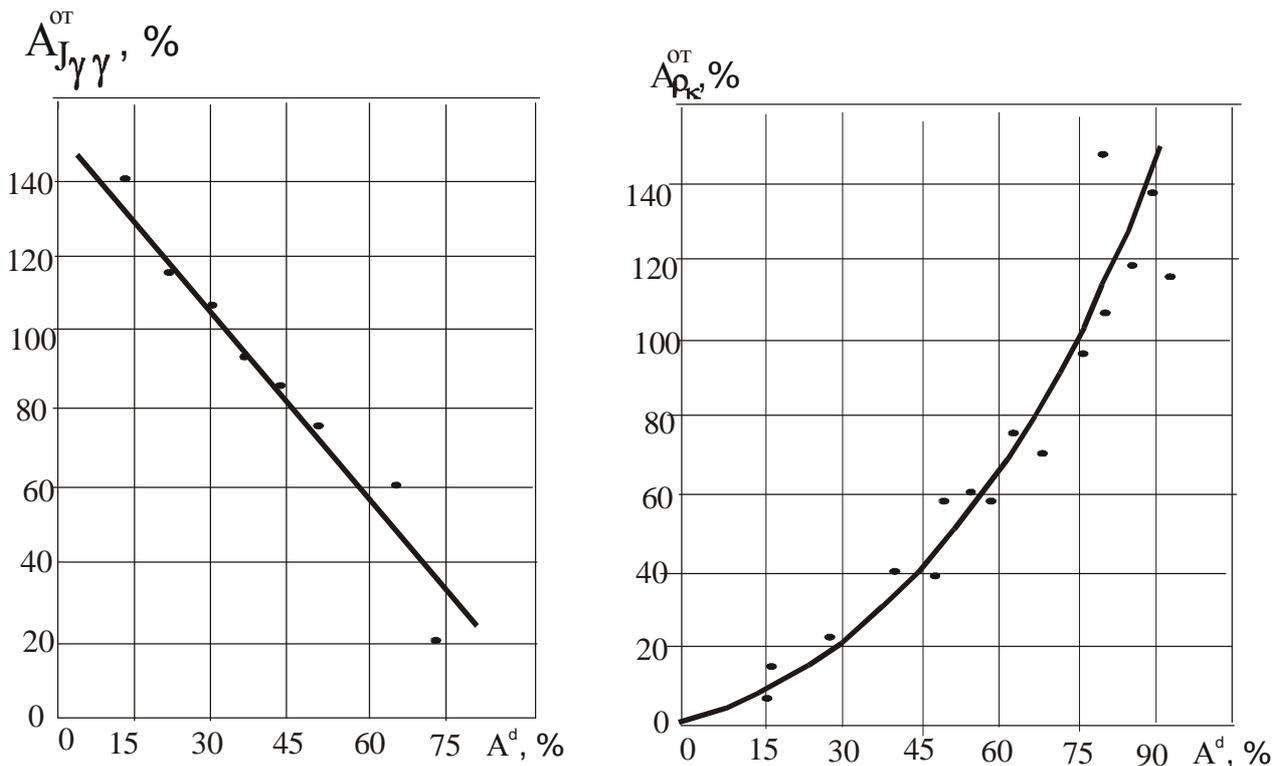


Рис. 3. Связь относительных геофизических параметров с зольностью

Вычисление приведенных сопротивлений производится по величине среднего кажущегося сопротивления пласта ρ_k^{cp} по формуле

$$\rho_k^{np} = \kappa_h \cdot \kappa_p \cdot \kappa_a \cdot \kappa_d \cdot \rho_k^{cp} \quad (4)$$

где κ_h , κ_p , κ_a , κ_d – коэффициенты учета соответственно мощности пласта, сопротивления бурового раствора и вмещающих пород, диаметра скважины и угла падения. Значения коэффициента определяются по специальным палеткам, которые составляются для конкретного градиент-зонда и принятых стандартных условий.

Для определения средней зольности угольных пластов также используется корреляционная связь зольности с приведенным сопротивлением. Но из-за простоты расчетов в практике более широкое распространение нашла связь асимптотического сопротивления с зольностью. Поэтому в данной работе более подробно излагается методика определения зольности угольных пластов с использованием этой связи.

Асимптотическое кажущееся сопротивление – это сопротивление тонкого пласта при бесконечном уменьшении его мощности. С целью определения асимптотических сопротивлений были рассчитаны специальные палетки среднего кажущегося сопротивления пласта от соотношения размера зонда и мощности пласта при фиксированных сопротивлениях бурового раствора и вмещающих пород, а также для разных диаметров скважин (рис.4).

Расчет асимптотического коэффициента приведен ниже.

$$\frac{P_k^a}{P_k^{cp}} = B, \quad (5)$$

где ρ_k^a – асимптотическое кажущееся сопротивление пласта, ρ – среднее кажущееся сопротивление пласта, B – асимптотический коэффициент.

Палетки коэффициента B составлены для различных соотношений сопротивлений вмещающих пород к сопротивлению бурового раствора $\rho_{вм}/\rho_б$, а также для различных диаметров скважины (d).

Определение величины асимптотического сопротивления сводится к ряду простых операций, которые заключаются в следующем:

1) По диаграммам детализационного комплекса геофизических методов определяется общая мощность пласта h и вычисляется отношение L/h .

2) На диаграмме градиент-зонда против пласта находится среднее кажущееся сопротивление пласта, а также сопротивление вмещающих пород, которые для последовательного зонда берется в кровле пласта, а для обращенного – в почве.

3) По диаграмме кавернометрии находится средний диаметр скважины в интервале залегания пласта, а по диаграмме резистивоометрии определяется сопротивление бурового раствора.

4) По значению фактического диаметра скважины выбирается палетка коэффициента B (рис.13), рассчитанная при диаметре скважины, наиболее близком к фактическому.

5) По найденным значениям L/h и отношению $\rho_{вм}/\rho_p$ (шифр кривых) находится величина коэффициента B (ордината).

6) Умножив значение среднего сопротивления на найденную величину коэффициента B , находят значение асимптотического сопротивления искомого пласта.

Для установления корреляционных связей асимптотического сопротивления с зольностью используются данные кернового и грунтоносного опробования угольных пластов по опорным скважинам.

Поскольку по асимптотическим сопротивлениям определяется только средняя зольность пласта, то для установления связи могут использоваться данные керна, поднятого в нарушенном состоянии, по всей мощности пласта. Пример определения зольности по диаграмме кажущегося сопротивления последовательного градиент-зонда показан на рис. 5.

Угольный пласт имеет сложное строение, а его общая мощность равна 1,13. На диаграмме кажущегося сопротивления тонкие породные прослои не выделяются, а сама кривая несколько искажена эффектами экранирования.

Величина сопротивления вмещающих пород определена в кровле пласта, а диаметр – по кавернограмме.

Все необходимые данные для расчета асимптотического сопротивления пласта, результаты определения его зольности, а также данные о зольности пласта, полученные по материалам дифференциального опробования керна и грунтоносным пробам сведены в табл. 2.

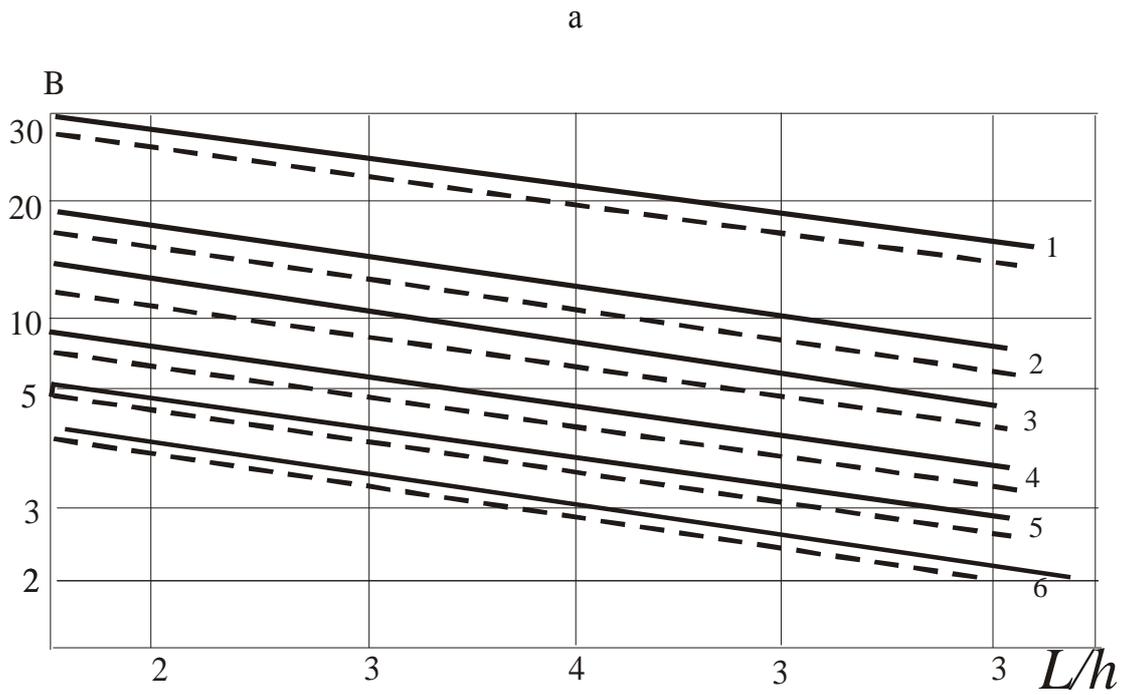


Рис. 13. Палетки асимптотического коэффициента В.
 Градиент-зонд АО=L=3,55 м, L/h. Шифр кривых $\rho_{\text{ВМ}}/\rho_{\text{Р}}$.
 а - d=80 мм (прерывистая), d=100 м (прямая)
 б - d=120 м (прерывистая), d=140 м (прямая)

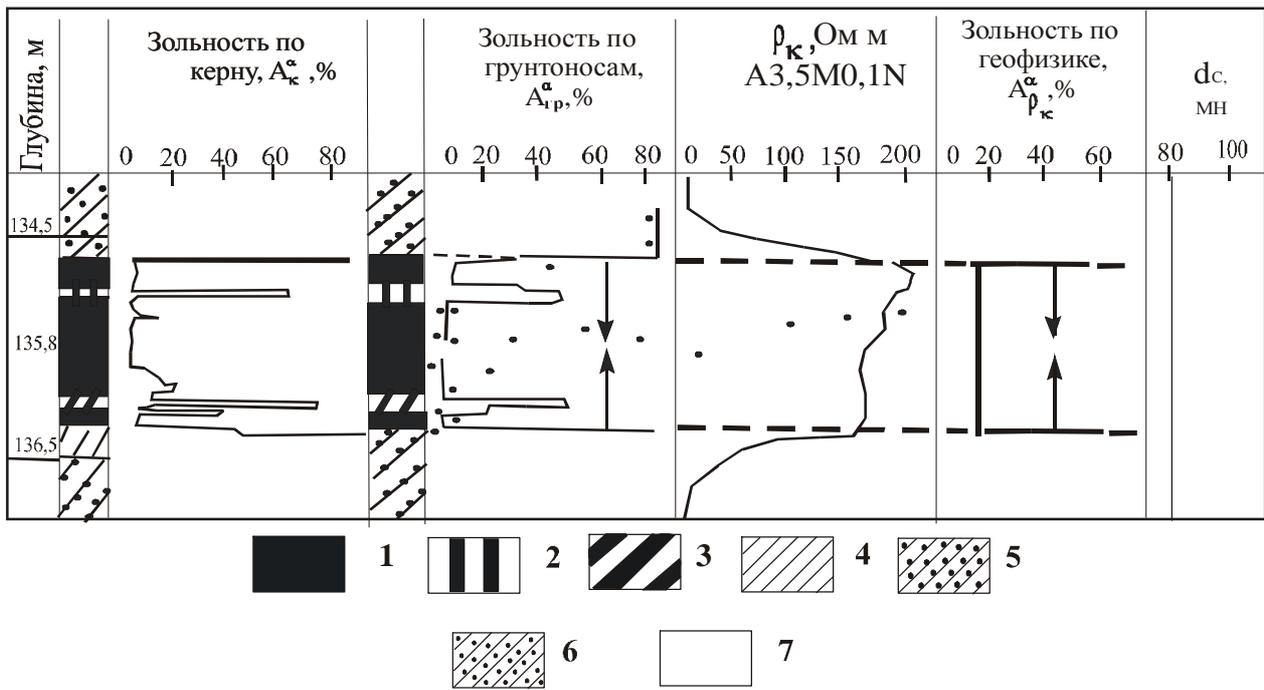


Рис.5. Пример определения зольности угольного пласта сложного строения по диаграмме кажущегося сопротивления:

1 – низкозольный уголь; 2 – среднезольный уголь; 3 – аргиллит; 4 – аргиллит; 5 - аргиллит алевролитовый; 6 – алевролит крупнозернистый; 7 - керн отсутствует

Таблица 2

Результаты определения асимптотического сопротивления и зольности угольного пласта

L, м	h, м	L/h	ρ_k^{BM} , Ом·м	ρ_n , Ом·м	ρ_6	d, мм	ρ_k^{cp} , Ом·м	B	a ρ_k , Ом·м	A_{cp}^d , %
3,55	1,13	3,1	12,5	177	6,3	80	170	17	2890	13,6

С помощью установленной корреляционной связи решается обратная задача – по найденным указанным выше способом асимптотическим значениям сопротивления пластов находится их средняя зольность.

Для определения зольности пласта использовался график корреляционной связи с асимптотическими кажущимися сопротивлениями (рис.6, а). Полученная средняя зольность пласта по диаграмме кажущегося сопротивления несколько выше чем по керну и грунтоносным пробам, что объясняется пропуском при обоих видах опробования прослоя углистого аргиллита (h=0,03 м) в центре пласта.

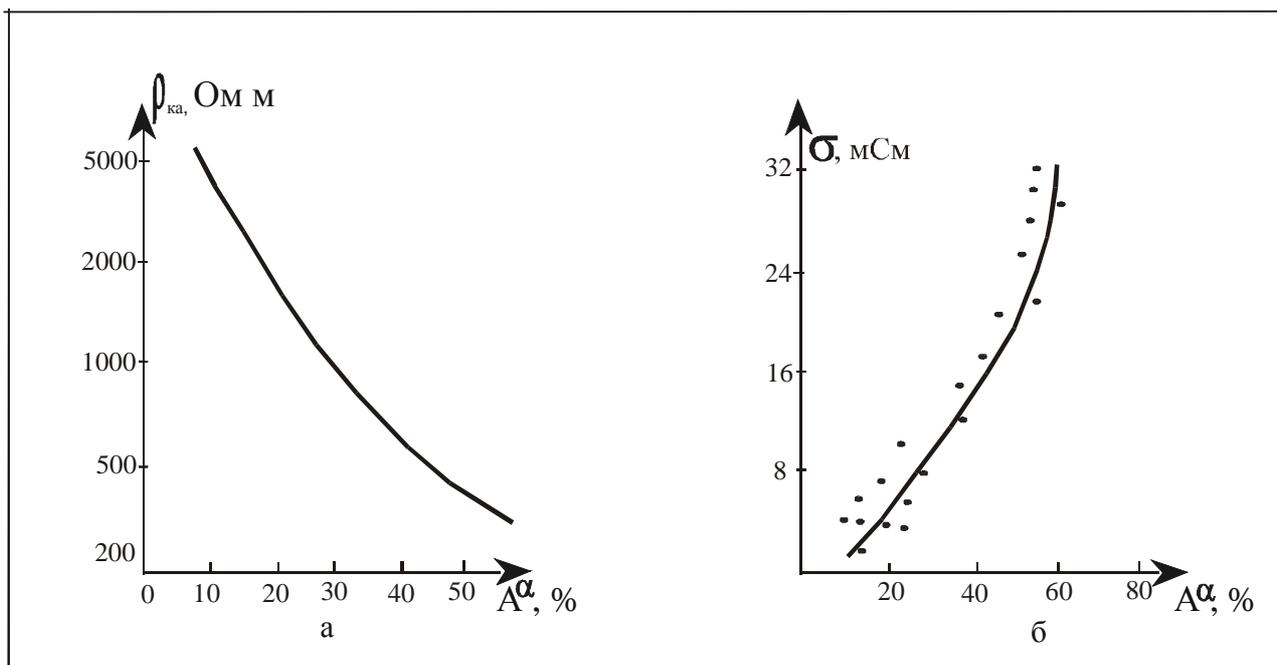


Рис. 6. График корреляционных связей асимптотического сопротивления (а) и электропроводности (б) с зольностью угольных пластов

Опыт применения данной методики показал, что наилучшие результаты получаются при определении зольности одиночных угольных пластов простого строения, мощность которых не превышает половины длины градиент-зонда, а погрешность определения зольности угольных пластов в благоприятных условиях применения методики составляет +3% [2,3].

К достоинствам методики следует отнести, прежде всего, простоту, небольшую трудоемкость и достаточно высокую точность. Однако ее применение имеет ограничения, связанные с невозможностью определения зольности угольных пластов мощностью, равной длине зонда и больше таковой, а также угольных пачек и породных прослоев в пластах сложного строения.

Итак, для определения зольности по диаграммам кажущегося сопротивления необходимо:

1. По диаграмме детализационного комплекса определить общую мощность пласта (h).
2. Вычислить отношения длины зонда к мощности пласта (L/h).
3. По диаграмме КС определить среднее кажущееся сопротивление пласта и вмещающих пород.
4. Определить средний диаметр скважины по данным кавернометрии.
5. Определить сопротивление бурового раствора по данным резистивиметрии.
6. По значению фактического диаметра скважины выбрать палетку коэффициента В (рис.4).
7. Определить величину коэффициента В.
8. Вычислить значение асимптотического сопротивления пласта путем умножения его среднего значения сопротивления на коэффициент В.

9. Определить зольность пласта по графику корреляционной связи (рис.6,а).

10. Результаты определений оформить в виде таблицы (табл. 2).

Определение зольности угольных пластов по данным кажущейся электропроводности. Установлено, что величина, обратная удельному электрическому сопротивлению углей – их удельная электрическая проводимость (удельная электропроводность G), измеренная вдоль напластования пород, имеет близкую к линейной и тесную связь с зольностью в широком диапазоне изменения последней [3,4].

В скважинах аппаратурой бокового каротажа регистрируется вдоль напластования кажущаяся электропроводность, величина которой в реальных условиях зависит не только от удельной электропроводности, но и от электропроводности бурового раствора (G_p) и вмещающих пород ($G_{вм}$), а также от диаметра скважины (d_c) и мощности пласта (h).

Пример определения зольности угольного пласта сложного строения по диаграмме кажущейся проводимости показан на рис.7. В разрезе пласта по данным геофизики выделено большое количество углистых пород различной мощности. Практически по всему разрезу пласта поднят керн в основном хорошей сохранности, по результатам дифференциального опробования которого составлен детальный разрез зольности пласта.

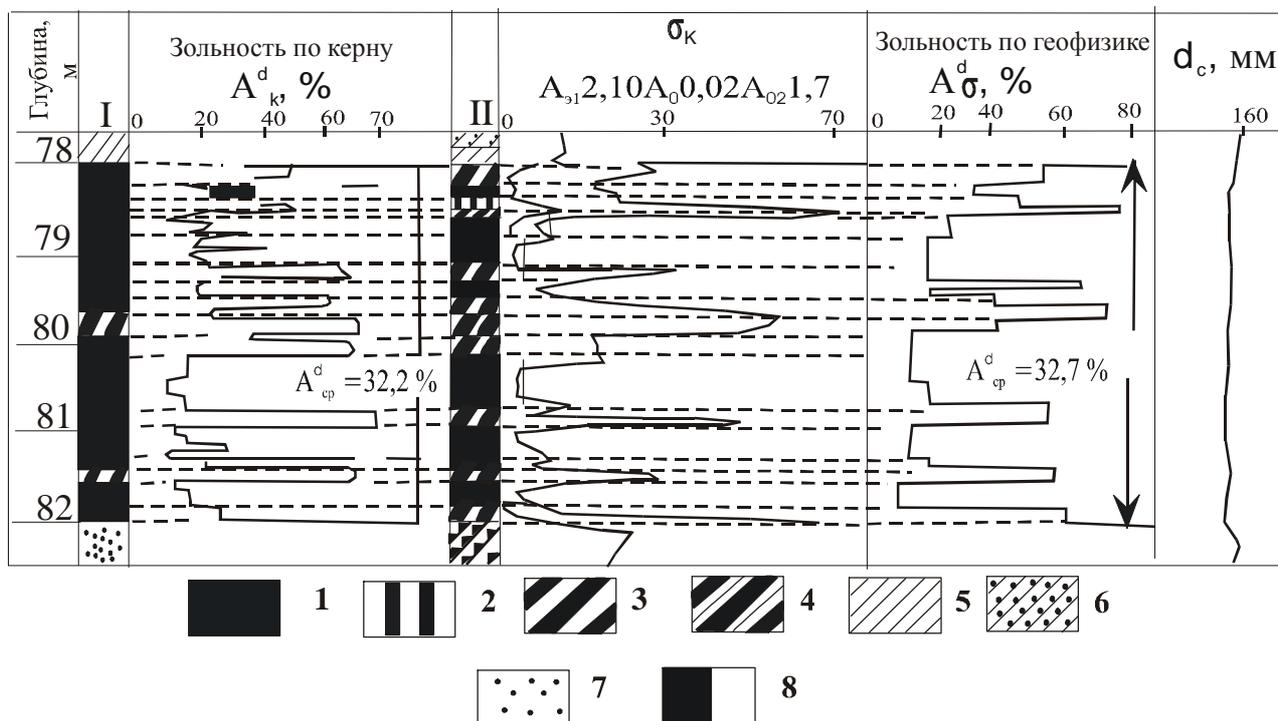


Рис. 16. Пример определения зольности угольного пласта сложного строения по диаграмме кажущейся электропроводности G :

1 – уголь; 2 – высокозольный уголь; 3 – аргиллит высокоуглистый; 4 – аргиллит низкоуглистый; 5 – аргиллит; 6 – аргиллит алевролитовый; 7 – песчаник мелкозернистый с глинистым цементом; 8 – керн отсутствует

Диаграмма зольности угольных пачек и породных прослоев составлена с использованием корреляционной связи углей, установленной по обобщенным данным грунтоносного и кернового опробования угольных пластов с удельной электропроводностью углей (рис.6, б). Средняя зольность пласта рассчитана по формуле 3. При этом минералогическая плотность слоев определялась по ее связи с зольностью (рис.1). Результаты определения зольности пласта сведены в табл. 10.

Таблица 10

Определение зольности угольных пластов по данным кажущейся электропроводности

Мощность пачек по σ_k	Значение σ_k	$A_{s_k}^d, \%$	$A_{кери}^d, \%$	Расхождения ΔA^d
0,14	5,9	51,5	53,1	-1,6
0,11	3,3	29,5	31,7	-2,2
0,15	17,6	44,5	48,4	-3,3
0,07	50,2	75,0	63,0	+12,0
0,22	6,8	24,5	29,5	-5,7
0,63	3,2	17,5	19,0	-1,5
0,11	29,2	61,5	61,1	+0,4
0,19	6,8	21,5	20,6	+0,9
0,14	13,2	40,0	39,5	+0,5
0,11	36,8	70,0	70,5	-0,5
0,17	15,6	42,5	50,0	-7,5
0,41	4,8	18,0	19,4	-1,4
0,18	9,6	26,5	16,4	+10,1
0,19	64,5	64,5	64,5	0
0,36	6,0	20,0	21,1	-1,1
0,13	10,8	29,0	23,5	+5,5
0,13	26,8	57,5	58,5	-1,0
0,34	6,4	21,0	20,4	+0,6
0,13	36,4	60,0	37,0	+23,0
3,91		По пласту 32,7	32,2	+0,5

Сопоставление зольности угольных пачек, определенных по диаграмме кажущейся электропроводности с данными кернового опробования показывают, что в отдельных случаях имеются расхождения до 12%.

Такие расхождения, как правило, приурочены к пачкам и прослоям, имеющим неоднородное строение. Средняя же зольность пласта равна 32,7%. Абсолютная погрешность определения средней зольности пласта очень сложного строения не превышает 0,5%.

Итак, для определения зольности угольных пластов по кажущейся электропроводности необходимо:

1. По диаграмме кажущейся проводимости разделить пласт на разнозольные слои и определить их мощность, удельную электропроводность.

2. Используя корреляционную зависимость зольности и электропроводность углей (рис. 15, б), определить значение всех выделенных слоев.
3. По формуле 3 рассчитать среднюю зольность пласта.
4. Результаты определения оформить в виде таблицы (табл.10).

Определение зольности угольных пластов по данным селективного гамма-гамма-метода. Физической основой для определения зольности угольных пластов по диаграммам селективного гамма-гамма-метода служит весьма значительное различие эффективного атомного номера органического вещества ($Z_{эф}=6$) и минеральных примесей ($Z_{эф}=12$). Высокая чувствительность диаграмм $J_{\gamma\gamma c}$ к содержанию минеральных примесей и практически полное отсутствие влияния процессов метаморфизма углей на величину атомного номера обеспечили высокую эффективность этого метода. Суть метода заключается в использовании корреляционных связей относительной амплитуды аномалии $J_{\gamma\gamma c}$ с зольностью углей [6,11,12]. За относительную величину аномалии следует принимать отношение скорости счета против искомого слоя и скорости счета в эталоне, т.е. $J_{\gamma\gamma c}^{от} = J_{\gamma\gamma c}^y / J_{\gamma\gamma c}^{эт}$ ($J_{\gamma\gamma c}^{эт} = 11,6$ см). При этом за эталон принимается среда (искусственная или естественная), эквивалентная зольность которой по скорости счета близка к беззольному углю. В качестве такого эталона используются графитовые или плексигласовые блоки, чистая вода, специальные блоки из полимеров и т.д. Эквивалентная зольность эталона точно устанавливается по результатам измерений на моделях или по данным скважинных измерений на пластах, зольность которых достоверно известна.

Учитывая высокую чувствительность диаграмм селективного гамма-гамма-каротажа к изменениям эффективного атомного номера, величина которого зависит как от содержания, так и от состава минеральных примесей, необходимо, чтобы указанная связь использовалась для определений зольности углей, состав минеральных примесей которых равен составу минеральных примесей угля, по которым она составлялась.

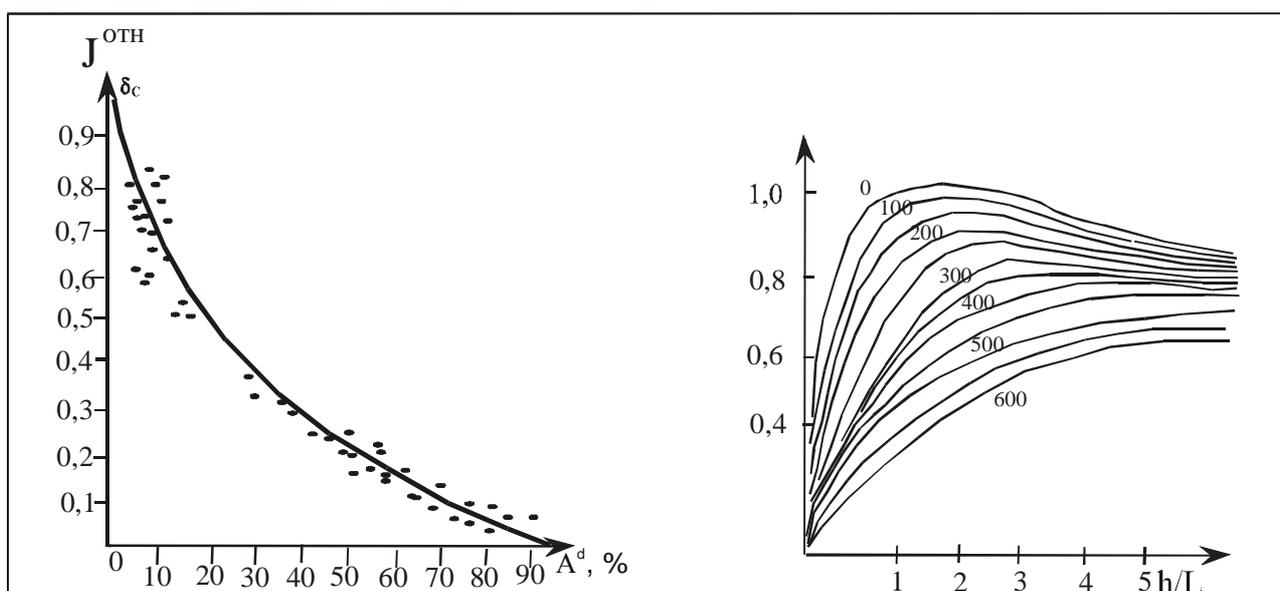


Рис.17. График корреляционной связи относительного параметра $J_{\gamma\gamma c}^{от}$ с зольностью угольных пластов

Рис.18. Палетка для определения коэффициента учета влияния мощности пластов на величину аномалий. Шифр кривых - $\nu\tau$

Прежде чем приступить к определению зольности, диаграмму селективного гамма-гамма-метода необходимо разделить на отдельные интервалы (слои), в пределах которых величина интенсивности гамма-излучения принимается постоянной, и определить их мощность. Выделенные таким образом слои могут включать в себя несколько тонких пропластков углей и углистых пород различной мощности, которые из-за малой мощности не разделяются по диаграмме $J_{\gamma\gamma c}$, но выделяются на разрезе, составленном по данным геофизики. Поэтому правильность определения мощности слоев по диаграмме $J_{\gamma\gamma c}$ надежно контролируется данными разреза пласта по геофизике. Отсчет показаний скорости счета против выделенных угольных пачек и породных прослоев проводится в сантиметрах от нулевой линии.

При мощности угольных пачек и прослоев более длины зонда селективного каротажа в полтора раза ($h > 1,5L$) отсчет значений принимается равным среднему значению скорости счета. Если мощность пачки или прослоя меньше указанной величины, то отсчет значений принимается равным экстремальному. Величина поправок за влияние мощности пластов на величину аномалий находится с помощью специальных палеток, представляющих семейства графиков зависимости коэффициента учета мощности пласта (прослоя) от его истинной мощности, выраженной в единицах длины зонда, при различных значениях ν и τ (рис.18).

По исправленным таким образом значениям интенсивности регистрируемого гамма-излучения против угольных пачек и породных прослоев вычисляются величины их отношения к интенсивности регистрируемого излучения в эталоне.

Замер в эталоне должен проводиться на скважине перед началом и окончанием регистрации диаграмм.

По найденным значениям относительной интенсивности с помощью корреляционной связи $J_{\gamma\gamma c}^{от} = f(A^\alpha)$ (рис.17) определяется зольность угольных пачек и породных прослоев, а точнее, выделенных по диаграмме J_γ слоев. Средневзвешенная зольность угольных пластов рассчитывается по формуле (3), а необходимая для этих расчетов минералогическая плотность выделенных слоев – по связи ее с зольностью.

Пример определения зольности угольного пласта сложного строения по диаграмме селективного гамма-гамма-метода показан на рис. 19.

Для определения зольности угольных пластов по данным селективного гамма-гамма-метода необходимо:

1. Разделить диаграмму селективного гамма-гамма-метода на отдельные слои и определить их мощность.
2. Определить скорость счета против выделенных слоев.

3. Определить величину поправок за влияние мощности пласта.

4. Вычислить отношение исправленного за влияние мощности значения интенсивности регистрируемого гамма-излучения к интенсивности регистрируемого излучения в эталоне.

5. С помощью корреляционной связи между относительным параметром гамма-гамма-гамма метода селективного и зольности значениям относительной интенсивности с помощью корреляционной связи $J_{\gamma\gamma\gamma}^{от} = f(A^\alpha)$ определить зольность выделенных слоев.

6. Рассчитать средневзвешенную зольность по формуле (3 или 4).

7. Результаты вычисления представить в форме табл. 11.

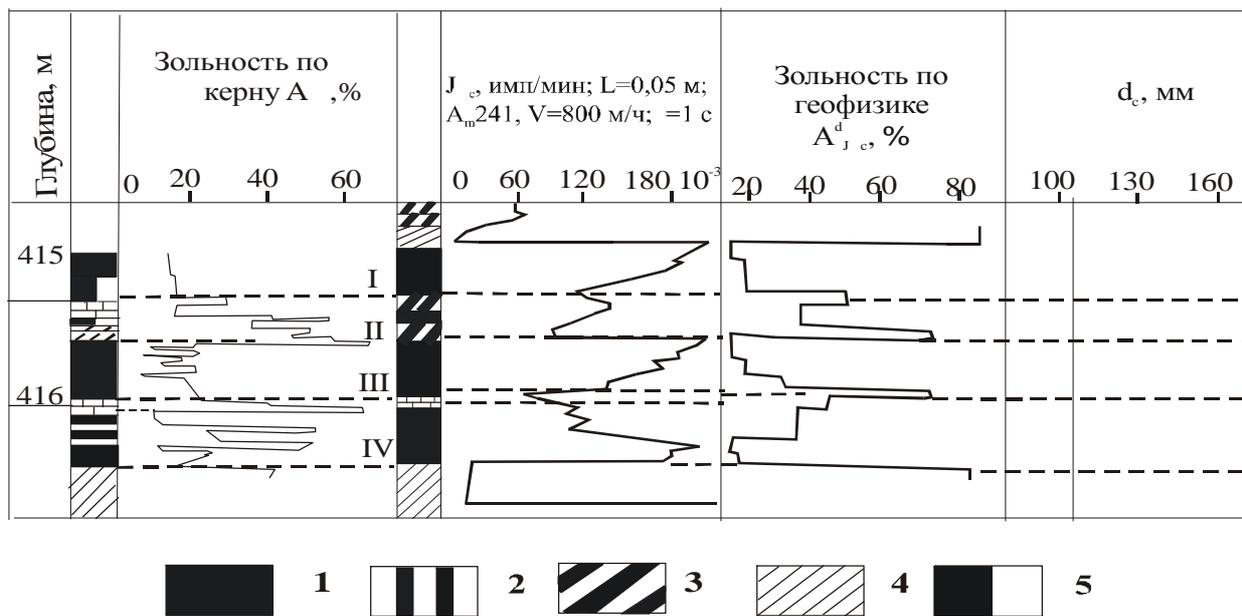


Рис.19. Пример определения зольности угольного пласта по диаграмме $J_{\gamma\gamma\gamma}$:

1 – низкозольный уголь; 2 – высокозольный уголь; 3 – высокоуглистый аргиллит; 4 – аргиллит; 5 - керн отсутствует

Определение зольности угольных пластов по данным плотностного гамма-гамма-метода. В пределах одного геолого-геофизического участка или ступени зольность так же как и плотность углей связаны с составом и содержанием минеральных примесей. При постоянном составе минеральных примесей между объемной плотностью и зольностью углей существует тесная корреляционная связь [3]. Используя эту связь, по известной объемной плотности можно

определить зольность. Корреляционную связь "объемная плотность – зольность" следует устанавливать в пределах геолого-геофизических участков и ступени для групп отдельных пластов, состав минеральных примесей которых постоянен или меняется незначительно. Регистрируемая при плотностном каротаже интенсивность рассеянного гамма-излучения тесно связана с плотностью [3,5,7]. Следовательно, если определить плотность по разрезу угольного пласта с помощью диаграммы $J_{\gamma m}$, то используя связь "плотность-зольность", можно определить последнюю по всем угольным пачкам и породным прослоям, выде-

ленным по диаграмме. Для регистрации объемной плотности пород и углей в разрезах скважин серийно выпускается аппаратура КУРА-3, где по разности интенсивностей рассеянного гамма-излучения, регистрируемого двумя зондами длиной 0,2 и 0,4 м, определяется величина функции плотности, тесно связанная с плотностью пород. Для привязки показаний прибор эталонируется с использованием полевого калибровочного устройства. Такая система эталонирования и калибровки регистрации диаграмм проводится в единицах плотности. При определении плотности углей вводятся поправки на различие их объемной электронной плотности. Минимальная мощность пластов, на которых обеспечивается определение плотности с гарантированной относительной погрешностью +2%, составляет 0,4 м, что существенно ограничивает применение данной аппаратуры для определения зольности угольных пластов. Поэтому в практике чаще применяется прижимной прибор плотностного каротажа РГ-38 [3,7]. В нем для измерения рассеянного гамма-излучения используется зонд длиной 0,2 м, который вместе с прибором прижимается к стенкам скважины рессорной пружиной. Основой определения плотности служит эталонировочный график, который составляется для каждого прибора. Эталонировка прибора производится на блоках известной плотности либо по результатам измерений в скважине на пластах различной плотности, величины которой также известны. С целью определения плотности тонких прослоев и пачек ($h < L$) методикой предусматривается введение поправок на мощность пласта и величину параметра регистрации в замеренную интенсивность рассеянного гамма-излучения. Кроме того, предусмотрено введение поправки за различие объемной и электронной плотности исследуемой среды. При условии надежного контакта измерительной установки с исследуемой средой относительная погрешность определения плотности составляет +1%.

Определив указанными способами объемную плотность угольных пачек и породных прослоев в угольном пласте и используя корреляционную связь "объемная плотность-зольность", находят значение последней. Расчет средневзвешенной зольности пласта проводится по формуле (3), аналогично расчету, приведенному для ее определения по диаграммам селективного гамма-гамма-метода. Для уменьшения погрешностей при определении зольности используют корреляционную связь с относительным параметром J_{ggI}^{om} , предусматривающим J_{ggI}^{om} , отношение интенсивности рассеянного гамма-излучения в угольной пачке (прослое) к его значению в эталоне, т.е. $J_{ggI}^{om} = J_{\gamma\pi}^y / J_{\gamma\pi}^{эт}$ (рис.20). Эталоном может служить J_{ggI}^{om} специальная модель или контрольно-калибровочное устройство, плотность которых близка к плотности низкозольного угля. В качестве эталона может использоваться также вода ($J_{\gamma\pi}^{эт} = 13,6$). Эта связь должна устанавливаться для отдельных участков, групп пластов или отдельных пластов с постоянным составом минеральных примесей. Кроме того, с целью исключения погрешностей, связанных с отличием эксплуатационных характеристик приме-

няемых скважинных приборов, они должны составляться в пределах каждого исследуемого геолого-геофизического участка или ступени.

Для определения зольности угольных пластов диаграммы плотностного метода точно так же, как и диаграммы селективного каротажа, разделяются на интервалы, в пределах которых интенсивность рассеянного гамма-излучения принимается постоянной. Взятие отчета на диаграмме $J_{\gamma m}$ и определение величин амплитуд производится в полной аналогии с тем, как это делается на диаграммах $J_{\gamma c}$.

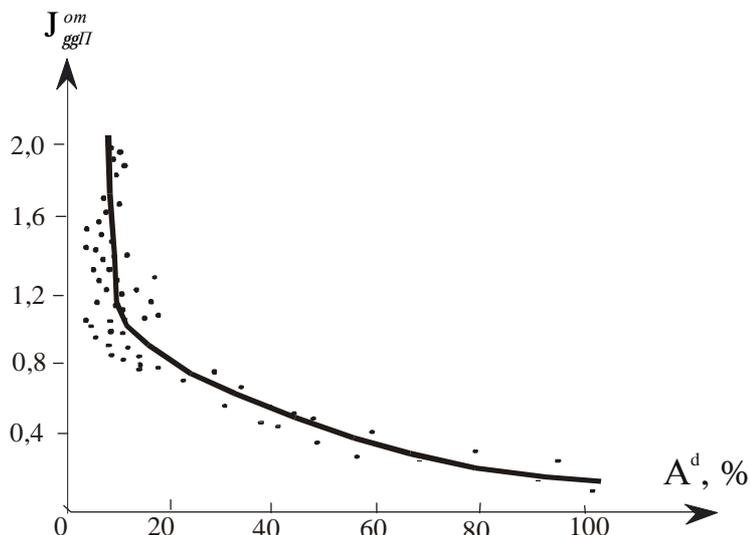


Рис.20. График корреляционной связи относительного параметра $J_{\gamma m}^{от}$ с зольностью A^{α} угольных пластов

В величину интенсивности рассеянного гамма-излучения в пачках (прослоях), мощность которых меньше длины зонда, вводятся поправки на мощность, на скорость регистрации диаграмм и инерционность применяемой аппаратуры. Значение поправок находится по специальным палеткам, представленным на рис.21.

Палетка поправочного коэффициента K за инерционность аппаратуры и скорость подъема снаряда составлена по данным скважинных измерений на пластах различной мощности. Она представляет семейство графиков зависимости $K_w=f(w)$ (шифр кривых). Поправочный коэффициент K_w численно равен отношению аномалии рассеянного гамма-излучения в пласте при $w=0$ (неподвижный прибор) к значению аномалии интенсивности при $w \neq 0$:

$$K_w = \frac{\Delta J_{\gamma m}(w=0)}{\Delta J_{\gamma m}(w \neq 0)}. \quad (8)$$

Поправочный коэффициент K_w вводится, когда параметр регистрации диаграмм $w=v\tau$ превышает 90 м·с/ч. Величина коэффициента определяется как ордината палетки по известным значениям параметра регистрации w и мощности пласта (шифр кривых) (рис.21, а).

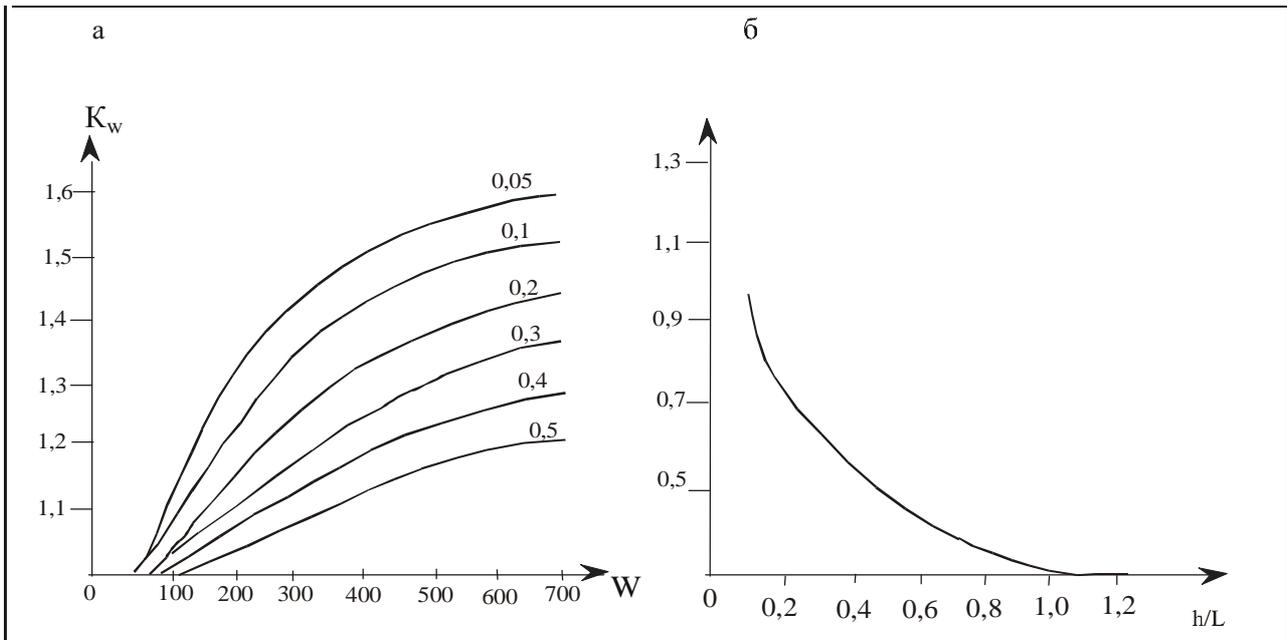


Рис.21. Палетки поправочных коэффициентов для учета влияния скорости регистрации диаграмм (а) и мощности пласта (б) на величину $\Delta J_{\gamma n}$ аномалии.

Шифр кривых - мощность пласта

Под мощностью пласта понимается мощность слоя (интервала равной зольности), выделенного по диаграмме. Исправленное значение интенсивности рассеянного гамма-излучения на угольном пласте находится из выражения

$$J_{\gamma nu}(y) = J_{\gamma gn}(n) + K_w \cdot K_h \cdot \Delta J_{\gamma gn}(y), \quad (9)$$

где $J_{\gamma nu}(y)$ исправленное значение интенсивности на угольном пласте; $J_{\gamma gn}(n)$ - интенсивность подстилающего пласта породы (среды); $J_{\gamma n}(y)$ - амплитуда аномалии на угольном пласте. Соответственно исправленное значение интенсивности рассеянного гамма-излучения на породном прослое, залегающем в угле, будет равно:

$$J_{\gamma nu}(n) = J_{\gamma gn}(y) + K_w \cdot \Delta J_{\gamma gn}(n) \quad (10)$$

где $J_{\gamma nu}(n)$ - исправленное значение интенсивности в породном прослое, $J_{\gamma gn}(y)$ - интенсивность в подстилающем породном прослое угля (среде); $\Delta J_{\gamma gn}(n)$ - амплитуда аномалии породного прослоя.

Палетка поправочного коэффициента K_h за мощность пласта (прослоя) построена по данным экспериментальных исследований в скважинах на тонких прослоях известной мощности (рис. 21, б). Численно коэффициент K_h равен отношению амплитуды аномалии интенсивности рассеянного гамма-излучения в пласте неограниченной мощности ($h=\infty$) к амплитуде аномалии в пласте конечной мощности ($h \neq \infty$) при $\nu\tau=0$:

$$K_h = \frac{\Delta J_{\gamma n}(h = \infty)}{\Delta J_{\gamma n}(h \neq \infty)} \quad \text{из рис 21 б.} \quad (11)$$

Величина коэффициента K_h находится как ордината палетки по известному значению относительной мощности пласта (h/L), откладываемой по оси абс-

цисс. Исправленное за мощность значение интенсивности рассеянного гамма-излучения определяется по формулам (9), (10), в которые вместо коэффициента K_w ставится коэффициент K_h .

Исправленное за величину параметра регистрации и мощности угольного пропластка значение рассеянного гамма-излучения вычисляется по формуле

$$J_{ggnu}(y) = J_{ggnu}(n) + J_n + K_h \cdot \Delta J_{ggn}(y) \quad (12)$$

Соответственно на тонком породном прослое ($h < L$) исправленное значение рассеянного гамма-излучения рассчитывается по формуле:

$$J_{ggnu}(y) = J_{ggn}(n) - J_n - K_w \cdot \Delta J_{ggn}(n). \quad (13)$$

На рис. 22 представлен пример определения зольности угольного пласта сложного строения по диаграмме плотностного гамма-гамма-метода.

В разрезе пласта по диаграммам детализационного комплекса выделяется несколько прослоев различной мощности и зольности, наличие которых в пласте подтверждается результатами детального петрографического описания и дифференциальным опробованием зольности угольного керна.

Из-за относительно низкой расчленяющей способности плотностного метода пласт разделен лишь на 5 слоев различной мощности, пропластков и слоев, выделенных на разрезах по другим диаграммам и детальному петрографическому описанию. Фактические значения интенсивности рассеянного гамма-излучения на угольных пачках и прослоях, мощность которых меньше размера зонда, исправлены путем введения поправок за мощность, величины которых определялись указанным выше путем.

Поправки за величину параметра регистрации не вводились, так как его величина не превышала 90 м·с/ч. Зольность выделенных пачек определялась

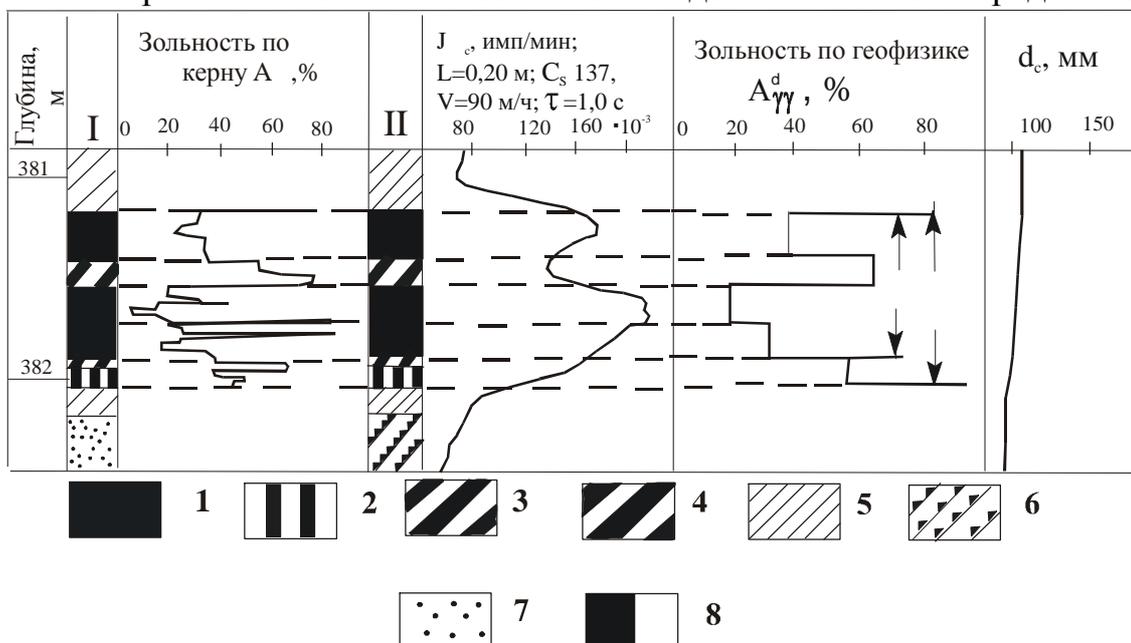


Рис. 22. Пример определения зольности угольного пласта по диаграмме плотностного каротажа:

- 1 - уголь; 2 - высокозольный уголь; 3 - высокоуглистый аргиллит; 4 - аргиллит среднеуглистый; 5 - аргиллит; 6 - аргиллит алевролитовый; 7 - песчаник мелкозернистый с глинистым цементом; 8 - керн отсутствует

с помощью графика связи безмерного параметра с зольностью $J_{ggu}^{om} = f(A^\alpha)$ (рис.20). Результаты промежуточных определений зольности угольного пласта приведены в табл. 12, где также указана средняя зольность пачек и прослоев по данным дифференциального опробования керна.

Существенные искажения в диаграммы плотностного каротажа, а соответственно и в возрастание погрешностей определения зольности угольных пластов вносят кавернозность и неровность стенок скважин, из-за чего не обеспечивается надежный контакт рабочей поверхности зонда с исследуемой средой. Поэтому необходим тщательный анализ геофизических диаграмм, который позволяет выделить такие интервалы в разрезах пластов. Зольность подобных интервалов, определенная по диаграмме $J_{\gamma m}$, не должна учитываться в расчете средневзвешенной зольности.

Для определения зольности угольных пластов по данным плотностного гамма-гамма-метода необходимо:

1. Выделить отдельные слои на диаграмме плотностного гамма-гамма-метода.

2. При необходимости в величину интенсивности рассеянного гамма-излучения ввести поправки за мощность и инерционность аппаратуры (рис.21).

3. Определить величину относительной интенсивности, а затем зольности изучаемого угольного разреза.

4. Полученные результаты оформить в виде таблицы.

Определение зольности угольных пластов по данным естественной радиоактивности. Основой для изучения зольности углей по их естественной радиоактивности служит корреляционная связь между ними. Ее существование объясняется зависимостью обеих величин от содержания и состава минеральных примесей. При этом с увеличением количества примесей в угле одновременно увеличивается и зольность, и радиоактивность. Исключение из этого правила составляют угли с аномально высоким содержанием радиоактивных элементов.

Естественная радиоактивность беззольного угля имеет минимальное значение по сравнению с вмещающими породами и реальными углями.

С увеличением зольности естественная радиоактивность углей растет. Это связано с увеличением содержания радиоактивного изотопа K^{40} , содержащегося в составе глинистых минералов, являющихся основным компонентом минеральных примесей. Максимальную естественную радиоактивность среди углевмещающих пород имеет аргиллит. Естественная радиоактивность углей и вмещающих пород не зависит от процессов метаморфизма и эпигенеза, но ее значение в одних и тех же породах, а также в углях одинаковых стадий метаморфизма и зольности в разных бассейнах различно.

Суть методик определения зольности угольных пластов по диаграмме естественной радиоактивности сводится к нахождению истинного значения естественной радиоактивности пласта, установлению между нею и зольностью корреляционной связи и использованию последней для решения обратной задачи, т.е. определения зольности угольных пластов. Установление истинного значения естественной радиоактивности угольного пласта проводится путем введения специальных поправок за мощность, влияние вмещающих пород, инерционность применяемой аппаратуры, скорость регистрации, диаметр скважины, плотность и естественную радиоактивность бурового раствора. Также разработаны методики, использующие относительные значения естественной радиоактивности. Для определения зольности по данной методике рекомендуется использовать относительную радиоактивность J_g^{om} , представляющую собой отношение средних значений $J_{\gamma y}$ в угольном пласте или отдельных его пачках, исправленных за влияние мощности пласта, инерционности аппаратуры, диаметра скважины и бурового раствора, к средним значениям во вмещающих породах, непосредственно залегающих в его кровле $J_{\gamma BM}$:

$$J_g^{om} = \frac{J_{gy}}{J_{g\delta M}} \quad (14)$$

Зависимость параметра J_g^{om} , от зольности угля представлена на рис.23.

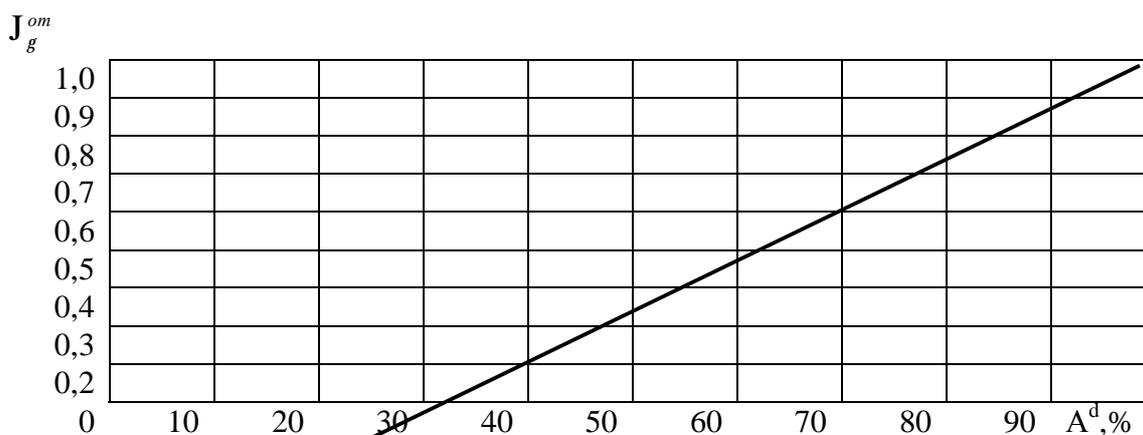


Рис.23. Пример связи относительной интенсивности естественного гамма-излучения с зольностью углей

Использование относительной интенсивности естественного гамма-излучения угольных пластов позволяет учитывать неоднородность радиоактивных минеральных примесей в различных угольных пластах. Это объясняется тем, что часть осадков, залегающих в кровле торфяника, попадает в него и при погружении под толщу покрывающих пород преобразуется вместе с торфяниками в угольное вещество с минеральными примесями. Поэтому часто можно отождествлять радиоактивность минеральных примесей в угольных пластах с радиоактивностью вмещающих пород, непосредственно залегающих в их кровле. Вследствие этого использование относительной интенсивности естественного гамма-излучения угольных пластов обеспечивает более точное определение их зольности.

Для определения исправленного значения J_{γ} необходимо в снятые с диаграммы средние значения интенсивности естественного излучения пласта или его отдельных пачек J_{γ} ввести поправки за влияние мощности пласта и инерционности аппаратуры K_{hw} , а также за влияние диаметра скважины и бурового раствора $K_{др}$. Величина поправок находится по специальным палеткам, приведенным на рис.24. Палетка определения K_{hw} представляет собой семейство графиков зависимости $K_{hw}=f(h)$ при различных значениях параметра скорости регистрации $w=v\tau$ (шифр кривых). Коэффициент K равен отношению амплитуды аномалии интенсивности естественного гамма-излучения при бесконечной мощности пласта ΔJ_{gy}^{∞} к значению амплитуды аномалии, снятому с диаграммы ΔJ_{gy}^h , т.е.

$$K_{hw} = \frac{\Delta J_{gy}^{\infty}}{\Delta J_{gy}^h} \quad (15)$$

Для введения этой поправки необходимо определить на диаграмме значение интенсивности естественного гамма-излучения угольного пласта $J_{\gamma\gamma}$ и вмещающих пород $J_{\gamma\text{ВМ}}$ и вычислить амплитуду аномалии $\Delta J_{\gamma\gamma}$ как разность этих величин:

$$\Delta J_{\gamma\gamma}^h = J_{\gamma\text{ВМ}} - J_{\gamma\gamma} \quad (16)$$

С помощью палетки по известной мощности пласта, определяемой по диаграмме, и известному значению параметра скорости регистрации $w = v\tau$ находится значение коэффициента K_{hw} . По найденному значению K_{hw} рассчитывается интенсивность естественного гамма-излучения пласта при его бесконечной мощности по формуле:

$$J_{\gamma\infty\gamma} = (J_{\gamma\text{ВМ}} - \Delta J_{\gamma\gamma}) \cdot K_{hw} \quad (17)$$

В исправленную за влияние мощности пласта и инерционности аппаратуры в интенсивность естественного гамма-излучения вводится поправка за влияние диаметра скважины и радиоактивности бурового раствора и находится величина исправленной интенсивности естественного гамма-излучения.

$$J_{\gamma\text{ИУ}} = J_{\gamma\infty\gamma} K_{\text{др}} \quad (18)$$

Значение коэффициента $K_{\text{др}}$ определяется как ордината палетки, представленная на рис.24 б, по известным значениям диаметра скважины, определяемого по кавернограмме (абсцисса палетка), и параметра Π (шифр кривых). Параметр Π равен отношению интенсивностей естественного гамма-излучения пласта $J_{\gamma\infty\gamma}$ и бурового раствора $J_{\gamma\text{р}}$, т.е.

$$\Pi = J_{\gamma\infty\gamma} / J_{\gamma\text{р}} \quad (20)$$

Интенсивность естественного гамма-излучения бурового раствора определяется прямым замером в шурфе тем же скважинным прибором, которым регистрировалась диаграмма. Исправленное значение $J_{\gamma\text{ИУ}}$ пласта используется при вычислении параметра J_g^{om} . По оси ординат палетки, представленной на рис. 25, откладывают это значение J_g^{om} и определяют зольность пласта.

При использовании диаграмм гамма-метода для определения зольности угольных пластов очень жесткие требования предъявляются к метрологическому обеспечению аппаратуры и к соблюдению необходимых требований к режимам регистрации диаграмм. Практически можно рекомендовать использовать метод естественной радиоактивности наравне с другими геофизическими методами для изучения зольности угольных пластов только простого строения и в качестве вспомогательного в комплексе с другими методами для изучения зольности угольных пластов сложного строения.

а

б

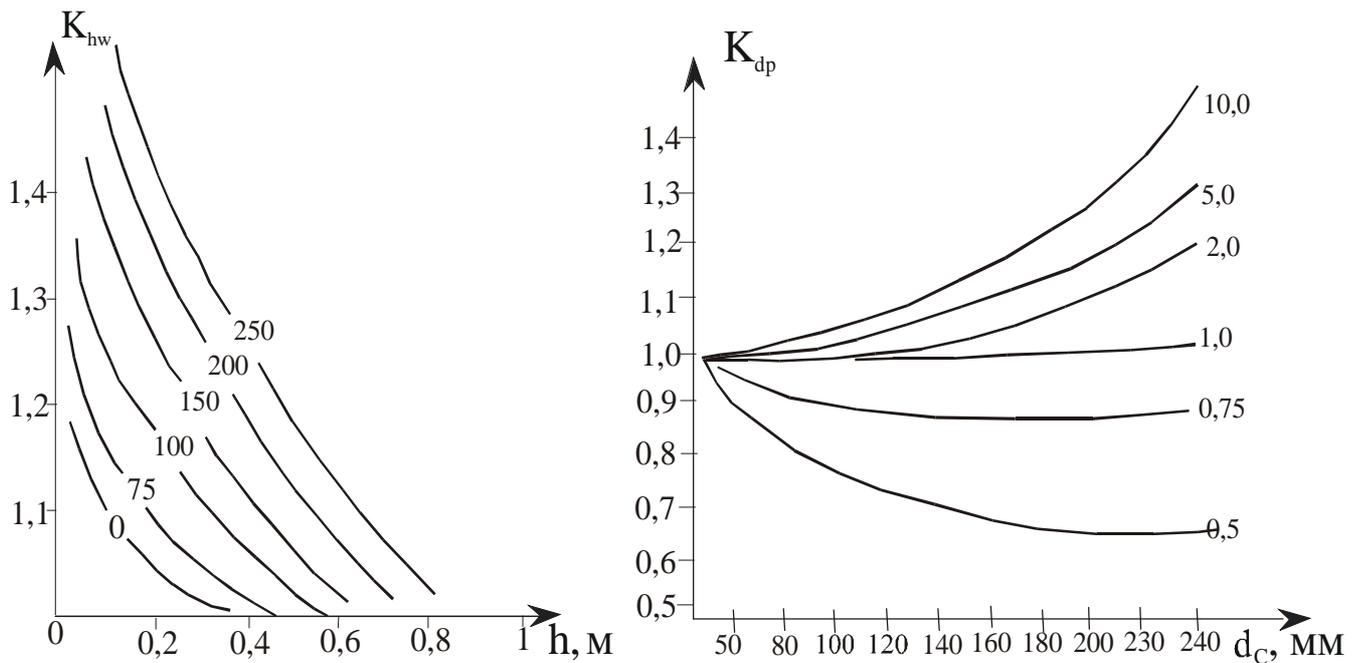


Рис.24. Палетки для определения поправочных коэффициентов учета влияния мощности пласта и параметра регистрации $K(wa)$, диаметра скважины и радиоактивности бурового раствора $K(dp)$ на величину аномалий. Шифр кривых: а - $w=\nu\tau$, б - Π

Для определения зольности угольных пластов по данным естественной радиоактивности необходимо:

1. Разделить диаграмму естественной радиоактивности на отдельные слои.
2. Ввести в значения интенсивности естественного гамма-излучения поправки за мощность пласта, инерционность аппаратуры, диаметр скважины и буровой раствор.
3. Найти отношение исправлений интенсивности пласта к среднему значению интенсивности гамма-излучения во вмещающих породах.
4. Используя корреляционную зависимость (рис.25), определить зольность пласта.

Содержание

Библиографический список

Татьяна Валерьевна Селиванова

Изучение зольности угольных пластов по данным
геофизических исследований скважин

Методические указания к практическим и самостоятельным работам

Редкатор Л.Ф.Юринова
Техн.редактор Н.М.Белохонова

Подписано в печать Формат 60x84/16
Усл.печ. л. . Уч.изд.л.
Тираж 100 экз.заказ

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток,
Пушкинская, 10