

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ГЕОЛОГИЯ
и
ГЕОФИЗИКА

№ 1

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)



НОВОСИБИРСК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
«НАУКА»

1990

S. A. Bornyakov

DYNAMICS OF STRUCTURE FORMATION
IN THE UNILAYERED MODEL
WITH ASSUMPTION OF ACTIVE TENSION MECHANISM

Processes of tension structure formation were modelled on the unilayered model to obtain qualitative and quantitative data on their dynamics. The study has resulted in the identification of the main elements of tension structures, their structure evolution and peculiarities of strain distribution within their limits. The author has made an attempt to estimate width and duration of the tension structure formation.

УДК 550.98.061.4(550.832)

С. В. ДВОРАК, М. Ю. ЗУБКОВ, Е. А. РОМАНОВ,
И. А. ПРЯМОНОСОВА, В. Я. ЧУХЛАНЦЕВА

ВОДОРОДОСОДЕРЖАНИЕ ТЕРИГЕННЫХ ПОРОД
ШЕРКАЛИНСКОГО ГОРИЗОНТА ТАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрены вопросы определения связанный воды в естественных образцах терригенных пород методом термогравиметрии. Установлены связи содержания связанный воды с глинистостью, пористостью, проницаемостью и остаточной водонасыщенностью. Описаны закономерности изменения минерального состава пород. Исследованы свойства углей. Даны рекомендации для интерпретации методов радиометрии скважин.

Для правильного определения коэффициента пористости горных пород по данным нейтронных методов исследования скважин необходим учет всех элементов, имеющих аномальные замедляющие и поглощающие свойства. В осадочных породах главным замедлителем тепловых нейтронов является водород, который содержится в поровом флюиде (воде, нефти, газе), в связанной воде твердой фазы, а также органическом веществе (ОВ). В отложениях шеркалинского горизонта (тюменская свита, нижняя юра) Талинского месторождения ОВ представлено углистым материалом, максимальное количество которого составляет 5—15 % в песчаниках и алевролитах, 20—30 % в аргиллитах и глинистых алевролитах и 75—80 % в отдельных прослоях углей. В настоящей работе на основании экспериментальных данных приводится характеристика содержания водорода в составе твердой фазы и органической компоненты исследуемых пород.

Содержание связанный воды твердой фазы изучалось термогравиметрическим методом. Использовались образцы, не содержащие углистого и карбонатного материала, так как при нагревании, разлагаясь, они затрудняют количественные определения массы выделившейся воды. Все остальные разности предварительно обрабатывались 10%-м раствором соляной кислоты, а затем перекисью водорода. Согласно существующему ГОСТу [4] определения проводились на образцах, высущенных до 105 °C. Вода, удалаемая до этой температуры, рассматривалась как часть свободной воды порового пространства.

Исследования показали, что в составе твердой фазы глинистых пород шеркалинского горизонта присутствуют два основных вида связанный воды, качественно различающиеся по характеру энергетического взаимодействия с поверхностью минералов. Первый тип выделяется в интервале температур 105—300 °C и представлен ближайшими к поверхности слоями воды, а также межслоевой водой, входящей в пространство между набухающими пакетами смешанослойных образований (ССО). Второй тип присутствует не в форме молекул H_2O , а входит в кристаллическую структуру глинистых минералов в виде гидроокислов и выделяется в интерва-

© 1990 Дворак С. В., Зубков М. Ю., Романов Е. А., Прямоносова И. А., Чухланцева В. Я.

ле 600—700 °С. Максимальное количество этой воды (14 мас. %) содержится в каолините, который является главным минералом цемента исследуемых пород.

В основу расчета содержания связанной воды положена методика, опубликованная в работе [3]. Расчет производился по формуле

$$W_{\text{тв}} = \frac{V_{\text{всв}}^{>105}}{V_{\text{тв}}} = \frac{m_{\text{всв}}^{>105} \cdot \delta_{\text{тв}}}{\delta_{\text{всв}}^{>105} \cdot m_{\text{тв}}} \quad (1)$$

где $W_{\text{тв}}$ — содержание связанной воды от объема твердой фазы породы (включая глинистую, алевритовую и песчаную фракции); $V_{\text{всв}}^{>105}$ и $V_{\text{тв}}$ — соответственно объемы связанной воды и твердой фазы; $m_{\text{всв}}^{>105}$ и $m_{\text{тв}}$ — массы связанной воды и твердой фазы (навески); $\delta_{\text{всв}}^{>105}$ и $\delta_{\text{тв}}$ — плотности связанной воды и твердой фазы.

Содержание связанной воды от объема породы рассчитывалось по формуле

$$K_{\text{всв}} = W_{\text{тв}}(1 - K_{\text{пор}}), \quad (2)$$

где $K_{\text{пор}}$ — коэффициент пористости.

При расчетах по формуле (1) в качестве интегральной плотности связанной воды было использовано значение плотности пресной воды при нормальных условиях ($\delta_{\text{в}} = 1 \text{ г}/\text{см}^3$), поэтому полученные результаты могут несколько отличаться от истинных значений, так как фактическая плотность разных категорий связанных вод несколько выше плотности свободной [2, 3].

Изучение взаимосвязей основных петрофизических характеристик пород с содержанием в них связанных вод производилось по средним значениям для классов (см. таблицу). Использовалась классификация пород шеркалинского горизонта, предложенная Т. Ф. Дьяконовой (1987).

Средние по классам значения фильтрационно-емкостных свойств, минерального состава цемента и содержания связанных вод в породах шеркалинского горизонта Талинского месторождения

Класс	Краткое описание породы	Петрофизические характеристики						Минеральный состав глинистого цемента, %				Удельное содержание связанных вод, %			
		$K_{\text{пор}}$, %	$K_{\text{пр}}$, мД	$K_{\text{вс}}$, %	$C_{\text{гл}}$, %	$K_{\text{гл}}$, %	$W_{\text{тв}}$, %	ССО	Гидрослюда	Хлорит	Каолинит	$W_{\text{гл}}$	$w_{\text{гл}}$	$W_{\text{ек}}$	$w_{\text{ек}}$
1	Аргиллиты из вмещающих отложений	3,5	<0,01	>93,0	26,0	25,1	17,9	10,9	21,4	15,2	52,5	7,4	29,4	10,5	14,0
2	Алевролиты м/з, глинистые, аргиллиты	9,2	0,75	87,0	17,0	15,4	9,0	11,3	14,8	14,8	59,1	4,7	30,4	4,3	5,2
3	Алевролиты кр/з, песчаники м, сп/з	11,8	2,4	70,2	11,0	9,7	6,3	10,1	15,6	10,9	63,4	2,9	30,4	3,4	3,8
4	Песчаники сп., кр., гр/з, гравелиты разнозернистые	12,8	4,7	51,0	9,5	8,3	4,7	7,3	15,2	8,7	68,8	2,6	30,8	2,1	2,4
5	Песчаники сп., кр., гр/з, гравелиты м/з	13,9	12,1	28,9	5,2	4,5	2,7	6,3	6,0	3,2	84,5	1,5	32,2	1,2	1,3
6	Песчаники кр., гр/з, кавернозные, гравелиты м/з, кавернозные	17,5	814	16,4	4,7	3,9	1,3	2,6	7,0	0,5	89,9	1,3	32,6	—	—

Примечание. м/з — мелкозернистый, кр/з — крупнозернистый, сп/з — среднезернистый, гр/з — грубозернистый

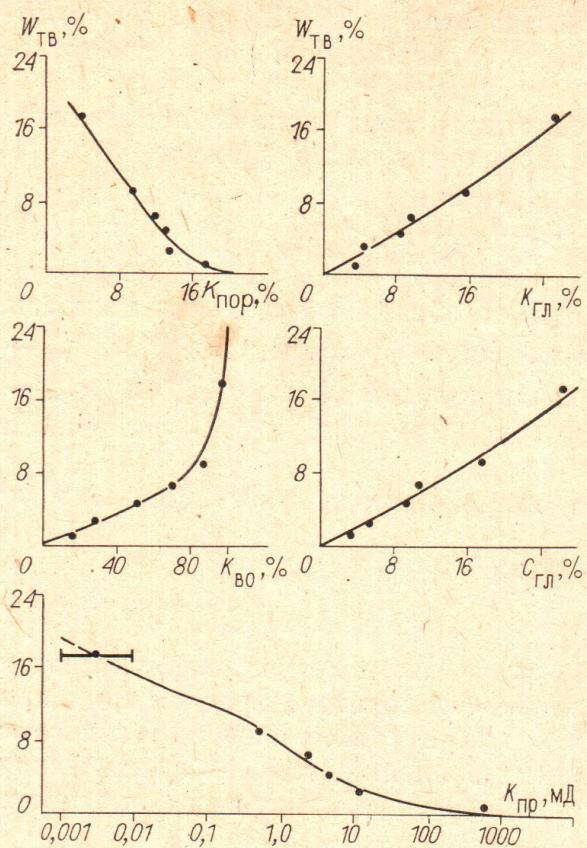


Рис. 1. Графики изменения средних по классам значений содержания связанной воды твердой фазы (W_{tb}) от пористости (K_{por}), остаточной водонасыщенности (K_{bo}), проницаемости (K_{pr}), весовой (C_{gl}) и объемной (K_{gl}) глинистости для пород шеркалинского горизонта Талинского месторождения.

и основанная на результатах статистической обработки массовых определений пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности.

Результаты исследований показывают, что между средними по классам значениями основных петрофизических характеристик — пористостью, проницаемостью, остаточной водонасыщенностью, весовой и объемной глинистостью — и содержанием связанный воды существуют тесные связи (рис. 1). В то же время внутри классов достоверных связей не установлено. Это объясняется тем, что на значения W_{tb} и K_{vcv} ввиду

значительной литологической неоднородности пород влияют многие факторы: содержание и состав глинистого материала, гранулометрическая характеристика, степень гидрофобизации и др. Это ведет к широкому диапазону изменения W_{tb} и K_{vcv} , который значительно перекрывает соседние классы. Например, диапазон изменения W_{tb} составляет для первого класса 12—22%; второго — 3,5—20; третьего — 2—10, четвертого — 2,7—7; пятого — 0,7—4; для шестого — 0,3—3%.

Под глинистостью в данной работе понимается суммарное содержание в породе только глинистых минералов — каолинита, хлорита, гидрослюд, смешанослойных образований и других, определенное по рентгеноструктурному методу. В литературе более часто под глинистостью понимается суммарное содержание в породе фракции с размером зерен $< 0,01$ мм, определенное по ситовому методу. Коэффициенты глинистости в этом случае имеют довольно условное значение, так как при разрушении породы во фракцию $< 0,01$ мм кроме собственно глинистых минералов попадает еще некоторое количество минералов обломочной части — кварца, полевых шпатов, слюд.

Породы шеркалинского горизонта отличаются простым кварцевым составом, на долю которого приходится 60—95% обломочной части. В изменении минерального состава глинистой компоненты прослеживается закономерное увеличение содержания каолинита от 40—45 до 90—100%; уменьшение содержания хлорита от 20—30 до 0—1%, гидрослюды от 20—25 до 5—9% и смешанослойных образований от 15 до 2—5% с увеличением зернистости пород при переходе от первого класса к шестому (см. таблицу).

Используя средние по классам характеристики минерального состава глин, а также результаты общего содержания связанный воды в породе, можно оценить, какое ее количество приходится на глинистую компоненту, а какое — на обломочную часть породы. Принимая удельное содержание связанный воды для каолинита и хлорита 34%, гидрослюды — 19, монтмориллонита — 22 [4] и полагая, что группа ССО представлена на 50% из гидрослюды и 50% из монтмориллонита ($w_{cco} \approx 21\%$), получим, что водородный индекс собственно глинистой компоненты соста-

вит: для первого класса 29,4 %, второго и третьего — 30,4, четвертого — 30,8, пятого — 32,3, шестого — 32,6 %.

Исходя из того, что общее содержание связанной воды в породе слагается из количеств ее на глинистых минералах и минералах обломочной части, имеем:

$$W_{\text{тв}} = W_{\text{гл}} + W_{\text{ск}};$$

$$\text{или } W_{\text{тв}} = C_{\text{гл}}w_{\text{гл}} + C_{\text{ск}}w_{\text{ск}} = C_{\text{гл}}w_{\text{гл}} + (1 - C_{\text{гл}})w_{\text{ск}};$$

тогда

$$w_{\text{ск}} = \frac{W_{\text{тв}} - C_{\text{гл}}w_{\text{гл}}}{1 - C_{\text{гл}}}, \quad (3)$$

где $w_{\text{гл}}$ и $w_{\text{ск}}$ — удельные водородные индексы глинистого цемента и скелета породы.

Рассчитанные по формуле (3) значения $w_{\text{ск}}$, а также рассчитанные через минеральный состав $w_{\text{гл}}$ сведены в таблице.

Результаты показывают, что в терригенных песчано-глинистых коллекторах шеркалинского горизонта значительный объем связанной воды приходится на песчано-алевритовую часть. В породах 2—5-го классов среднее суммарное содержание связанной воды обломочной части примерно равно ее суммарному содержанию в глинистых частицах (см. таблицу). Отношение $W_{\text{гл}}/W_{\text{ск}}$ для них изменяется от 0,7 до 1,18 и в среднем равно единице.

Иной характер распределения связанной воды наблюдается для коллекторов шестого класса (по Т. Ф. Дьяконовой). Отношение $W_{\text{гл}}/W_{\text{ск}}$ составляет для них 21,2. Это объясняется тем, что доля тонкодисперсной алевритопелитовой фракции в этих породах чрезвычайно мала, а крупные кварцевые зерна практически не содержат на своей поверхности связанный воды. Поэтому весь ее объем приходится на незначительное количество глинистого материала, не превышающее 3—5 %.

Подтверждением этого служит тот факт, что значение водородного индекса глинистого цемента, рассчитанное исходя из минерального состава ($w_{\text{гл}} = 32,6$ %), и значение, полученное в результате экспериментов, практически совпадают. Среднее суммарное содержание связанной воды твердой фазы для пород шестого класса составляет 1,33 %, глинистость — 3,92 (см. таблицу). Тогда $w_{\text{гл}} \approx 1,33/3,92 \approx 0,34$. Это значение соответствует удельному содержанию связанной воды для каолинита и подтверждает установленную закономерность в изменении минерального состава глинистого цемента при переходе от тонкодисперсных разностей к более крупнозернистым.

Изучение содержания связанной воды в гранулометрических фракциях показывает, что с уменьшением в них количества тонкодисперсных компонентов уменьшается и содержание связанной воды твердой фазы:

Название фракции	Размер зерен, мм	Содержание связанной воды, %
Песчаная	1,0—0,4	4,34
	0,4—0,25	6,37
	0,25—0,1	9,42
Алевритовая	0,1—0,05	11,80
	0,05—0,01	13,65

Так как нейтронные методы обычно используются совместно с методом естественной гамма-активности, изучались взаимосвязи содержания связанной воды с параметром q_{γ} , а также содержание элементов V, Th, K⁴⁰. Результаты показали, что между естественной радиоактивностью пород и содержанием в них связанной воды существуют тесные корреляционные связи (рис. 2). При этом было установлено, что данные по естественным образцам хорошо согласуются с данными по гранулометрическим фракциям.

Водород в составе углистой органики содержится как в форме связанный воды минеральной компоненты, так и в форме породообразующего

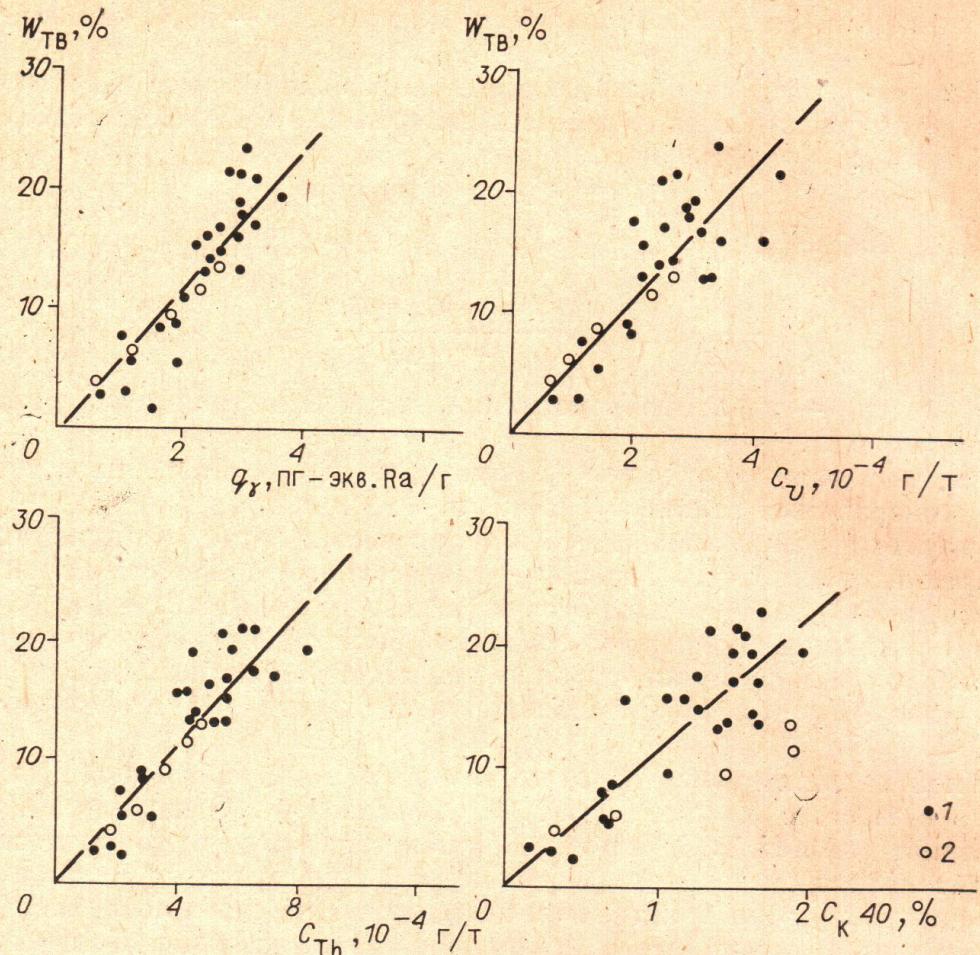


Рис. 2. Зависимости содержания связанный воды твердой фазы (W_{TB}) песчано-глинистых пород шеркалинского горизонта от естественной радиоактивности (q_γ), концентраций радиоактивных элементов урана (C_U), тория (C_{Th}) и калия (C_K).

1 — естественные образцы; 2 — гранулометрические фракции.

элемента органического вещества. По результатам химических анализов наиболее чистые разности углей тюменской свиты содержат в своем составе: углерод — 70—80 %, водород — 5,4—5,7, азот — 0,7—0,55 %, т. е. примерно 75 % приходится на органическую компоненту и 25 % — на минеральную. Средняя минеральная плотность углей 1,27—1,29 г/см³, минеральной компоненты — 2,67—2,7 г/см³. Исходя из этих данных, расчетная плотность органической компоненты изменяется в пределах 0,95—1,10 г/см³ и составляет в среднем 1,05 г/см³.

Удельное водородосодержание угля, включая органическую и минеральную компоненты, составляет

$$w_{\text{угл}} = C'_{\text{ов}} w'_{\text{ов}} + C'_{\text{мин}} w'_{\text{мин}},$$

где $C'_{\text{ов}}$, $C'_{\text{мин}}$ — соответственно весовое содержание органической и минеральной компоненты от объема твердой фазы угля; $w'_{\text{ов}}$, $w'_{\text{мин}}$ — удельные водородные индексы органической и минеральной компоненты.

Расчет удельного водородосодержания органической компоненты произведем по формуле [1]

$$w'_{\text{ов}} = \frac{9C_{\text{н}}}{C_{\text{ов}}} \times \frac{\delta_{\text{ов}}}{\delta_{\text{в}}} = \frac{9 \times 5,3}{75} \times \frac{1,05}{1,0} = 0,667 = 66,7 \text{ %}.$$

Для расчета удельного водородосодержания минеральной компоненты используем значение $w'_{\text{мин}} = 12 \text{ %}$, полученное с учетом средней радиоактивности угля 0,63 пг-экв. Ra/g при $C_{\text{ов}} = 70—80 \text{ %}$. Тогда полное водородосодержание угля будет равно:

$$w_{\text{угл}} = 0,885 \times 66,7 + 0,115 \times 12,0 = 60,4 \approx 60 \text{ %}.$$

Это значение может быть использовано в качестве постоянной величины при разработке петрофизических емкостных моделей водородсодержания глинистых угольсодержащих пород тюменской свиты Талинского месторождения и определения по ним коэффициента пористости.

Выводы

1. Объемное содержание связанной воды в составе твердой фазы песчано-глинистых пород шеркалинского горизонта зависит от общего количества в них тонкодисперсного материала и изменяется от 0,3—1,5 % для высокопроницаемых кварцевых гравелитов и песчаников до 17—21 % для глинисто-алевритовых пород из вмещающих отложений.

2. Существуют тесные корреляционные связи средних по классам значений W_{tb} с петрофизическими характеристиками C_{gl} , K_{gl} , K_n , K_{ob} . Внутри классов диапазон изменения W_{tb} высок и зависит от особенностей вещественного состава, гранулометрических характеристик, степени гидрооблизации и других факторов.

3. Связанная вода в составе твердой фазы содержится как на поверхности глинистых минералов, так и на поверхности минералов обломочной части. Значения w_{gl} изменяются от 29 до 33—34 %, w_{ck} — от 0 до 14 %.

4. Содержание связанной воды тесно связано с их радиоактивностью, а также с содержанием радиоактивных элементов K^{40} , V , Th .

5. Удельное водородсодержание угля зависит от вещественного состава и составляет для наиболее чистых разностей в среднем 60 % (для $C_{ob} = 75\%$; $C_n = 5,3\%$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Геофизические методы изучения подсчетных параметров при определении запасов нефти и газа/Бендельштейн Б. Ю., Золоева Г. М., Царева Н. В. и др. —М.: Недра, 1985. — 248 с.
2. Злочевская Р. И. Связанная вода в глинистых грунтах. —М.: Изд-во МГУ, 1969. — 175 с.
3. Определение петрофизических характеристик по образцам/Под ред. В. Н. Дахнова.— М.: Недра, 1977.— 432 с.
4. Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. ГОСТ 26450.0—85.— М.: ГосКомСтандарт, 1985.— 27 с.

СибНИИП
Тюмень

Поступила в редакцию
3 октября 1988 г.

S. V. Dvorak, M. Yu. Zubkov, E. A. Romanov,
I. A. Pryamonosova, V. Ya. Chukhlantseva

HYDROGEN CONTENT OF CLAY COAL-BEARING ROCKS OF SHERKALINSK HORIZON IN TALINSKIAN DEPOSIT

The article deals with the determination of bound water in natural samples of terrigenous rocks by the method of thermogravimetry. The content of the bound water was found to be connected with clay content, porosity, permeation and residual water-saturation. Described are the regularities of a change in the mineral composition of the rocks. Investigated are the coal properties. The article provides recommendations for interpretation of methods of well radiometry.