

ISSN 1561-8331 (Print)

ISSN 2524-2342 (Online)

УДК 552.08(375)

<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-349-358>

Поступила в редакцию 27.03.2018

Received 27.03.2018

В. Г. Левашкевич¹, В. П. Самодуров², С. Е. Шпак³

¹*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

²*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

³*Открытое акционерное общество «Газпром трансгаз Беларусь», Минск, Беларусь*

СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ СПАНОВСКОЙ СВИТЫ ПРИБУГСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

Аннотация. Приведены результаты лабораторных исследований вещественного состава и физико-химических свойств пород спановской свиты Прибугской структуры в пределах одноименного подземного хранилища газа (ПХГ). Породы представлены кварцевым мелкозернистым песчаником с различной степенью сортировки и окатанности зерен, типом цементации, глинистости. Установлен характер изменения состава пород и их физических свойств по разрезу свиты. Исследованные свойства характеризуют фильтрационно-емкостные параметры пород-коллекторов, которые используются при интерпретации данных комплексных геофизических исследований скважин, построении геологических и гидродинамических моделей ПХГ, выработке рекомендаций по повышению эффективности использования порового пространства пород при эксплуатации газовых залежей. В пределах свиты выявлены интервалы пород с низкой пористостью и проницаемостью.

Ключевые слова: порода горная, порода-коллектор, скважина, подземное хранилище газа, состав вещественный, свойства физические

Для цитирования. Левашкевич, В. Г. Состав и физико-химические свойства пород-коллекторов спановской свиты Прибугской структуры Подляско-Брестской впадины / В. Г. Левашкевич, В. П. Самодуров, С. Е. Шпак // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 349–358. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-349-358>

V. G. Levashkevich¹, V. P. Samodurov², S. E. Shpak³

¹*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

²*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

³*Open Joint Stock Company «Gazprom Transgaz Belarus», Minsk, Belarus*

THE COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF RESERVOIR-ROCKS OF SPAN SERIES OF THE PRIBUG STRUCTURE OF THE PODLESSE-BREST DEPRESSION

Abstract. The results of laboratory studies of the composition and physical properties of span series rocks of the Pribug structure within the eponymous underground gas storage (UGS), have been presented. The rocks are represented by a fine-grained quartz sandstone with various sorting and grain roundness, type of cementation and clay content. The character of section suites changes for the material composition of the rocks and their physical properties have been set. The examined properties specify reservoir rocks characteristics which are widely used for integrated geophysics well data interpretation, geological and hydrogeological UGS modeling, making recommendations for increasing efficiency of pore volume usage during gas storage operation. Rock intervals with poor porosity and permeability are detected inside the examined rock series.

Keywords: rock, collector, well, underground gas storage, composition material, physical properties

For citation. Levashkevich V. G., Samodurov V. P., Shpak S. E. The composition and physicochemical properties of reservoir-rocks of span series of the Pribug structure of the Podlesse-Brest depression. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no.3, pp. 349–358 (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-349-358>

Введение. В настоящее время в пределах Прибугской структуры Подляско-Брестской впадины эксплуатируется Прибугское ПХГ. В качестве основного пласта-коллектора используются отложения страдечской свиты кембрийской системы, которые в пределах структуры образуют коленчатый изгиб (флексуру) с разрывным нарушением на опущенном крыле [1–3] (рис. 1).

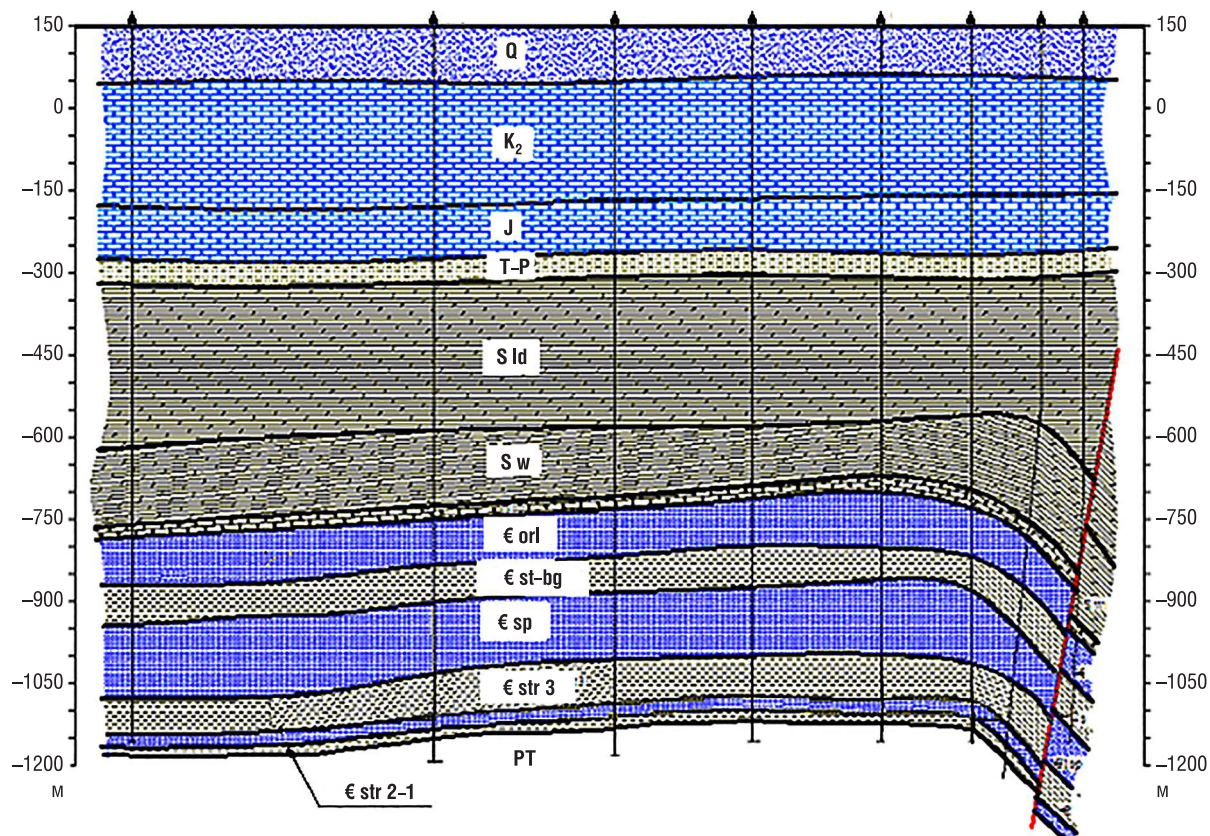


Рис. 1. Схематичный геологический разрез вдоль малой оси Прибугской структуры

Fig. 1. Schematic geological section along the minor axis of the Pribug structure

Результаты исследования вещественного состава и физико-химических свойств пород основного пласта-коллектора (€ str 2–1) и покрышки хранилища (€ str 3–2) приведены в работе [4]. Спановские (€ sp) отложения кембрийской системы также перспективны для создания в их пределах искусственной газовой залежи [5].

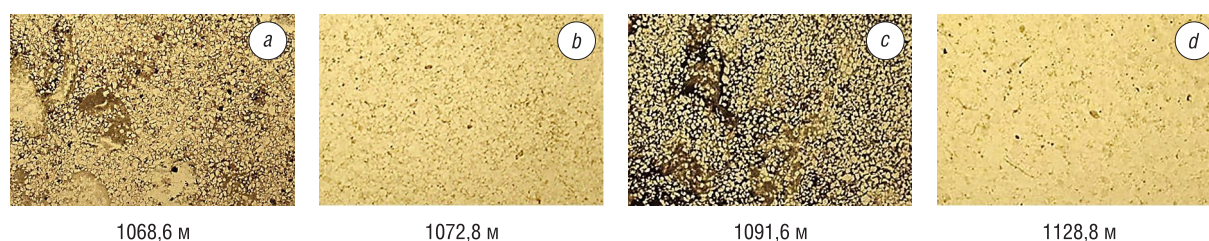
В пределах структуры спановские отложения залегают на породах страдечской свиты и представлены песчаными образованиями [6]. Они детально изучены комплексом геофизических исследований, включая специальные термометрические исследования скважин [7]. В настоящее время в пределах спановских отложений ведутся работы по созданию искусственной газовой залежи, приуроченной к кровле отложений, что требует новых знаний о петрофизических параметрах горных пород, выявлении их связей с другими (химическими, минералогическими, гранулометрическими и др.) параметрами пород с целью более эффективного использования порового пространства отложений в процессе эксплуатации газовой залежи. Кроме того, в центральной части этих отложений имеется техногенная газовая залежь, которая требует проведения мероприятий по ее регулированию.

Цель работы – выявление особенностей изменения количественных параметров горных пород в основном по мощности отложений на примере данных лабораторных комплексных исследований керна, отобранного из глубоких скважин фонда хранилища. Исследования направлены на оценку фильтрационно-емкостных свойств пород, что связано с наличием в теле отложений маломощных слабопроницаемых пропластков, которые могут выступать в качестве локальной покрышки и существенно влиять на продвижение газа к кровле отложений. Дано петрографическое описание наиболее представительных образцов пород из скв. 74 с использованием результатов лабораторных исследований их минерального, гранулометрического и химического составов. Изучено 28 образцов горных пород, равномерно распределенных по всей мощности спановских отложений из интервала глубин 1060,8–1140,2 м.

Лабораторныя даследаванні ўключалі наступныя віды аналізаў: петраграфічнае апісанне парод па шліфам; даследаванне хімічнага, грануламетрычнага складу парод; вызначэнне карбонатнасці і гліністых мінералаў у пародах; вызначэнне шчыльнасці, адкрытай і закрытай парызнасці, праніцаемасці па газу і па пластовай вадзе на спецыяльна падрыхтаваных апрабках; даследаванне паровага прастранства парод з дапамогай лічбавых фотаграфій.

Методы даследавання. Склад і ўласцівасці горных парод вызначаны па агульнапрынятым метадыкам у адпаведнасці з дзействующымі ГОСТамі. Падрабязнае апісанне існуючых метадаў прыведзена ў [4]. Даследаванне паровага прастранства парод выканана на аснове метадыкі ГИС-тэхналогій апрацоўкі лічбавых фотаграфій з існаваннем RGB-аналіза па адценкам чырвонага, зялёнага і сіняга колераў. Для даследавання апрабкі пароды разрэзалася ўздоўж асі керна з наступным фатаграфіраваннем паверхнасці лічбавой камерай, выдзяленнем паверхнасці апрабкі плошчай каля 50 мм², попіксельным даследаваннем выяўлення з існаваннем RGB-аналіза, выдзяленнем паровага прастранства па колеру палей на фотаграфіях і пабудовай крывых размеркавання пар па шарах у вертыкальным і гарызонтальным напраўленнях.

Результаты і іх абсуджэнне. На рыс. 2 прыведзены найбольш прадстаўнівыя мікрасфотаграфіі шліфаў у полярызаваным святле з павялічэннем $\times 20$, якія прадстаўляюць спановскія пароды з розных глыбін скв. 74.



Примечание. Песчаник краснацветны кварцевы мелка-среднезернистый, среднесортированный, с окатанными и частично слабоокатанными регенерированными зёрнами, с обломками глины размером до 1,5 мм (а, с). Контакты зёрн конформные линейные, точечные. В обломочной части кварц (b, d – более 90 %, а, с – более 80 %), единичные зёрна кварцитовидных пород и различной степени каолинитизации полевого шпата. Цемент каолинит-гидрослюдистый, пленочного, базально-порового и порово-базального типов (а–d) со значительной примесью гидроокислов железа (а, с). Цементацией охвачено более 95 % породы для образцов а и с и менее 20 % – b и d. Пористость весьма низкая, поры изолированные крупнокапиллярные (а, с), и относительно высокая с равномерным распределением изолированных мелко-, крупно- и единичных сверхкапиллярных сообщающихся пор (b, d)

Рис. 2. Фотографии шлифов (без анализатора) пород спановской свиты из различных глубин скв. 74 и их краткое петрографическое описание

Fig. 2. Thin section photos (without analyzer) of rocks of span series from different depths of the well 74 and their brief petrographic description

По всей мощности отложений породы представлены зрелым мономинеральным кварцевым песчаником с преобладанием мелкозернистой компоненты. Зёрна преимущественно окатанные и слабоокатанные, мелкой и средней размерности. Среди тонкой фракции преобладают неокатанные зёрна. Контакты между зёрнами преимущественно конформные линейные. Для наиболее пористых песчаников характерны точечные контакты соприкосновения зёрн. В обломочной фракции преобладает кварц – более 90 %. Примесь калиевых полевых шпатов, кварцитовидных пород, слюд и минералов тяжелой фракции варьирует, но суммарно не превышает 10 %.

Наиболее пористые разности песчаника с содержанием кварца больше 95 % характеризуются отсутствием цементации зёрн (например, рис. 2, b, d). Для пород с пониженной пористостью цементация осуществляется посредством глинистого, глинисто-железистого цемента пленочного, порово-пленочного и пленочно-порового, реже порового типов. Местами глинисто-железистого вещества так много, что оно образует в породе линзо- и прожилковидные выделения (рис. 2, с).

Степень пористости песчаников определяется, с одной стороны, распределением размера обломочных зёрн, с другой стороны – типом цементации. Пористые породы характеризуются, как правило, близкими размерами обломочных зёрн, низкой степенью преобразованности полевых шпатов, пленочным глинистым цементом и/или без цементации (рис. 2, b, d). Высокой

пористостью обладают также образцы пород из интервала глубин 1083–1085,8 м частично с карбонатным базально-поровым цементом. Для непористых или слабопористых песчаников характерно наличие обломочных зерен разной размерности и/или глинисто-железистого пленочно-порового или порового цемента (рис. 2, а, с).

Тип цементации, количество и степень заполнения порового пространства глинистым и глинисто-железистым цементом, по-видимому, в наибольшей степени обусловлены наличием в составе песчаников полевых шпатов (особенно калиевых), сульфидных и других форм железа и их постседиментационными преобразованиями, чем присутствием первичного обломочного глинистого вещества.

В рассматриваемых образцах песчаников преобладает капиллярная пористость. Поры в слабопористых песчаниках в основном изолированные тетра- и ромбоэдрические мелкокапиллярные, в пористых – мелко- и крупнокапиллярные изолированные и чаще сообщающиеся.

Химический состав пород. Химический состав отражает вариации содержания породообразующих минералов и минералов-примесей в породах и может служить для косвенного выделения коллекторов и покрышек, качественно оценивать их свойства. На рис. 3 представлены основные результаты лабораторных исследований химического состава спановских пород в виде кривых изменения содержания породообразующих минералов по глубине скв. 74 в сопоставлении с графиком изменения градиента температуры пород (G), измеренного в скважине.

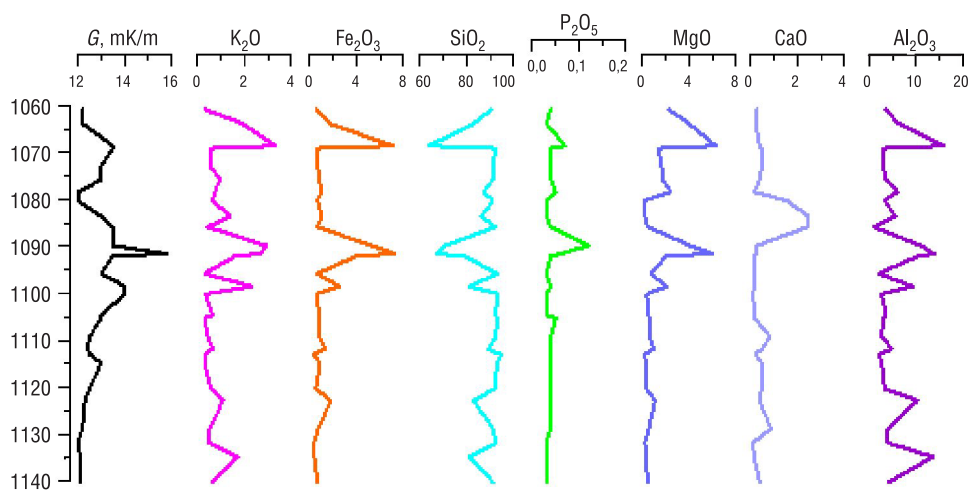


Рис. 3. Изменение компонентов химического состава пород спановской свиты по глубине скв. 74
Fig. 3. Change of chemical composition components of rocks of span series with depth in well 74

В связи с относительной однородностью отложений градиент температуры косвенно отражает наличие более глинистых интервалов пород: более высокий градиент температуры соответствует породам с повышенным содержанием глинистых компонентов. Это положение позволяет более обосновано отождествлять данные лабораторных исследований ядра реальному расположению пород в отложениях скважины.

По данным химического анализа в составе большинства изучаемых пород преобладает кремнезем (SiO_2), так как основным минералом является кварц. Его содержание по глубине отложений изменяется в узких пределах (от 80 до 90 %) и лишь для отдельных образцов снижается до 65 % (рис. 3). Характер изменения значений окислов железа, калия, алюминия, магния и натрия в целом соответствует друг другу по всей мощности отложений. Их повышенные содержания связаны с присутствием глинистых минералов, окислов железа и полевых шпатов и могут являться дополнительным критерием выделения разностей пород по фильтрационно-емкостным параметрам. Как правило, повышенное содержание этих минералов характерно для глинистых разностей пород и сопровождается понижением их пористости [8]. Такие породы наиболее полно выделяются в верхней части отложений скв. 74 на глубинах 1068,6 и 1089,8–1092,0 м и характеризуются повышенным градиентом температуры. Кроме того, в их химическом составе отмечается резкое снижение кварца (рис. 3).

В отличие от песчаников страдечских отложений [4], исследованные породы характеризуются весьма низким содержанием карбонатов, присутствующих в виде примесей (доли процента). Лишь в интервале глубин 1083,6–1085,8 м выделяется пачка пород с содержанием карбонатов до 2,5 %. Низкая концентрация карбонатов является благоприятным фактором для сохранения высокой пористости и проницаемости всего разреза спановских отложений. Для всех исследуемых образцов пород характерно также весьма низкое содержание сульфатов (до 0,02 %), фосфатов (0,04 %) и хлоридов (0,005 %) и незначительное содержание оксида натрия (0,1 %).

Анализ химического состава пород показывает, что в теле спановских отложений присутствуют маломощные пропластки с повышенным содержанием в цементирующей части окислов железа, калия, алюминия, магния и натрия, которые имеют тесную связь с наличием глинистых компонентов в породе. Следует ожидать, что такие породы будут обладать пониженной пористостью и проницаемостью. Химические компоненты пород достаточно четко коррелируют между собой и могут являться дополнительным критерием выделения неоднородностей в рассматриваемых отложениях по фильтрационно-емкостным параметрам пород.

Гранулометрический и минеральный составы и структура порового пространства пород. Гранулометрический состав во многом определяет фильтрационно-емкостные, физические и химические свойства пород. При характеристике пород использовали следующую классификацию зерен по их крупности: гравий – 10,0–1,0 мм, песок – 1,0–0,1 мм, алеврит – 0,1–0,005 мм, глина – меньше 0,005 мм (таблица). Крупные фракции гравия (больше 2,5 мм) в образцах керна отсутствовали, в связи с чем в таблице приведено содержание только его мелкой разности.

Гранулометрический состав спановских пород скв. 74 (мас.%)
Granulometric composition of the span rocks in well 74 (wt.%)

Глубина, м	Гравий	Песок			Алеврит			Глина <0,005 мм
	1,0–2,5 мм	0,5–1,0 мм	0,25–0,5 мм	0,1–0,25 мм	0,05–0,1 мм	0,025–0,05 мм	0,005–0,025 мм	
1060,8	0	0	0,59	81,63	15,27	0,72	1,69	0,1
1063,8	0	0,98	1,52	17,57	67,70	4,88	3,54	3,81
1068,6	0,08	2,39	2,90	39,24	23,06	7,53	7,63	17,17
1069,1	0	0,26	1,40	76,81	16,21	1,49	1,49	2,34
1072,8	0,09	0,19	0,39	84,89	9,39	1,48	0,93	2,64
1075,8	0	0,14	2,51	68,60	23,84	1,47	1,00	2,44
1078,4	0	0,14	1,43	63,89	24,92	2,89	1,68	5,05
1080,2	0,09	0,21	2,34	48,45	33,22	6,91	4,65	4,13
1083,6	0,07	0,24	1,12	65,26	26,82	2,37	1,89	2,23
1085,8	0	0,06	0,60	77,45	18,42	1,19	0,70	1,58
1089,8	0	0,04	0,63	43,02	45,24	3,75	2,66	4,66
1091,6	0,11	1,36	4,39	56,96	17,27	6,88	4,67	8,36
1092,0	0	0,04	4,02	61,04	15,16	4,21	3,69	11,84
1095,8	0,03	0,09	0,45	80,62	15,56	1,04	0,99	1,22
1098,5	0,13	0,32	0,61	29,81	54,34	5,40	3,85	5,54
1100,1	0,02	0,05	0,41	86,21	10,78	0,61	0,19	1,73
1104,6	0,01	0,11	0,21	69,00	25,83	1,93	1,62	0,99
1105,2	0	0,04	0,20	84,92	11,82	0,90	0,41	1,71
1109,3	0,70	0,81	5,38	77,10	12,14	1,60	2,05	0,22
1111,8	0	0,05	1,47	70,68	21,52	2,23	1,54	2,51
1113,0	0,02	0,08	4,72	89,18	3,87	0,44	0,42	1,27
1114,8	0	0,01	3,88	71,05	17,04	3,01	1,66	3,35
1120,3	0,25	0,25	2,08	86,39	6,73	1,27	0,72	2,31
1122,8	0	0,04	11,43	70,00	9,96	3,68	1,14	3,75
1128,8	0	0,12	25,44	68,18	2,57	0,68	0,80	2,21
1131,8	0,02	0,14	2,92	87,40	6,50	1,31	0,61	1,10
1134,8	0	0,08	13,16	75,01	5,87	1,20	1,07	3,61
1140,2	0	0,62	32,33	61,53	3,18	0,67	0,57	1,10

Анализ изменения гранулометрического состава образцов пород вместе с результатами их петрографического описания показывает, что исследуемые породы представлены в основном песчаниками мелкозернистыми, и лишь отдельные образцы имеют повышенное содержание алевритовой фракции. Такие породы, как правило, обогащены глинистыми минералами. В целом породы спановских отложений имеют незначительную примесь глинистых минералов, хотя в отдельных образцах содержание глин достигает 17 % (таблица, глуб. 1068,6 м). Более глинистые породы выделяются также в интервале глубин 1089,8–1092 м, а наличие цементирующего вещества с преобладанием группы гидрослюда и каолинита, заполняющего поры, резко снижает пористость и проницаемость таких пород. Данные гранулометрического состава хорошо согласуются с результатами химического анализа и показывают принадлежность изучаемых пород преимущественно к песчаному ряду. Малое количество глинистого цементирующего вещества в породах предполагает достаточно высокую их пористость и проницаемость.

Значимое влияние на петрофизические свойства пород оказывает минеральный состав, который, как правило, согласуется с данными петрографии, химического и гранулометрического составов и др. Изучение минерального состава пород указывает, что преобладающим минералом (более 50 %) здесь является кварц, причем породы в интервалах 1069,1–1085,8 и 1100,1–1120,3 м практически не содержат примеси. Большая часть породообразующих минералов-примесей (5–30 %) представлена каолинитом и гидрослюдой с подчиненными значениями полевого шпата. Такие примеси характерны для пород с более высокими значениями глинистого материала на глубинах 1068,6 м, 1089,8–1092,0, 1098,5, 1122,8 м. В составе малой примеси (0–5 %) преобладают каолинит, гидрослюда и гематит, причем гематит характерен для образцов породы с повышенным содержанием глины.

В связи с тем что основное влияние на коллекторские свойства пород оказывают глинистые минералы, они были выделены из пород и исследованы с помощью рентгенофазового анализа. Рассмотрено содержание гидрослюда и каолинита в породе и в глинистой фракции. Установлено практически одинаковое содержание гидрослюда и каолинита в породе с малой глинистостью. Для образцов с повышенной глинистостью (глубины 1068,6, 1089,8–1092,0 и 1122,8 м) характерно преобладание гидрослюда над каолинитом как в породе, так и в глинистой фракции. Это явление связано с генезисом изучаемых пород в процессе формирования спановских отложений. Каолинит является типичным терригенным компонентом глинистой фракции песчаников. Он образуется в результате процессов каолинизации полевых шпатов. Гидрослюда – типичный глинистый компонент морских аридных фаций осадконакопления. Поэтому породы с повышенным содержанием глинистых минералов являются более гидрослюдистыми, а увеличение вклада гидрослюда в общий объем глинистости приводит к изменению структуры порового пространства, уменьшению эффективной пористости и проницаемости.

Структура порового пространства пород-коллекторов исследована с помощью компьютерного анализа цифровых фотографий, снятых на срезах образцов (рис. 4). Цифровые фотографии пород (рис. 4, *a, c*) и фотографии их компьютерной обработки (рис. 4, *b, d*) выполнены в одинаковых условиях, поэтому увеличение и размер поля зрения (17 мм) на фотографиях одинаковы.

Особенностью изучаемых пород является достаточно равномерное распределение пор, что указывает на преобладание гомогенных структур порового пространства. Слоистость в рас-

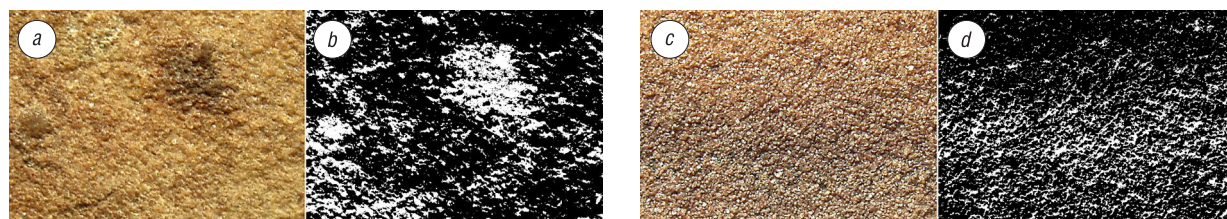


Рис. 4. Фотографии песчаников с глубин 1104,6 м (*a, b*, пористость 24,5 %) и 1105,2 м (*c, d*, пористость 20,0 %) скв. 74 и результаты их компьютерной обработки. Очаговое (*b*) и слоистое (*d*) распределение пор

Fig. 4. Photos of sandstones with depths of 1104,6 m (*a, b*, porosity 24,5 %) and 1105,2 m (*c, d*, porosity 20,0 %) in well 74 and the results of their computer processing. Localized (*b*) and laminate (*d*) pore distribution

пределении пор в подавляющем большинстве выражена слабо и связана с первичной осадочной слоистостью песчаников. Следует отметить, что в данных породах, в отличие от изученных пород-коллекторов страдечских отложений [4], отсутствуют локальные области и участки с пониженной пористостью, так как глинистый и вторичный карбонатный цемент не характерен для них. Наоборот, в отдельных образцах отмечаются локальные области с повышенной пористостью. Этот эффект связан с реликтовой структурой исходных песчаных пород. По-видимому, реликтовые структуры повышенной пористости связаны с органогенными остатками, преобразованными и разложившимися в процессах эпигенеза, но способствующими сохранению повышенной пористости в местах их локализации. Отмечаются два типа реликтовых органогенных объектов в изучаемых породах-коллекторах: локальное реликтовое распределение органики (рис. 4, *b*) и слоистое распределение исходной органики (рис. 4, *d*).

Органическое вещество, как правило, выделяется на цифровых фотографиях пород в виде более темных слоев и объектов в связи с процессами углефикации (рис. 4, *a*, *c*). Очевидно, слоистое распределение органического вещества связано с ритмичностью накопления органического детрита в отдельных слоях, а локальное распределение – с реликтами органических обломков. В обоих случаях органические остатки способствуют повышенной пористости на участках их локализации.

Породы с повышенной глинистостью, представленные преимущественно красноцветным мелкозернистым песчаником, характеризуются повышенным содержанием цемента в порах и их неравномерным заполнением (рис. 5).

Встречаются маломощные (до 1 м) прослойки пород с ярко выраженным слоистым строением, в которых среднезернистые песчаники контактируют с мелкозернистыми песчаниками с повышенной глинистостью (рис. 5, *a*, глуб. 1080,2 м), а также интервалы мелкозернистого песчаника, поровая часть отдельных прослоек которого заполнена каолинит-гидрослюдистым цементом (рис. 5, *b*, глуб. 1091,6 м). В обоих случаях наличие глинистого вещества в порах приводит к значительному уменьшению открытой пористости таких пород и существенному снижению проницаемости всего пропластка.

Плотность, пористость, проницаемость и остаточная водонасыщенность пород. Результаты исследования характера изменения физических и гидродинамических параметров пород по разрезу отложений и определение их значений широко используются для расчета технологических режимов эксплуатации скважин и ПХГ в целом. На рис. 6 приведены основные результаты таких исследований образцов спановских пород из скважины 74 ПХГ. Проницаемость пород определена при их полном насыщении пластовой водой.

Представленные на рис. 6 результаты указывают на весьма слабое изменение по разрезу физических и гидродинамических характеристик рассматриваемых пород, что связано с их однотипностью – преобладаем песчаных разностей. Плотность пород составляет в среднем $21,0 \text{ г/см}^3$, общая и открытая пористость – 23,0 и 16,0 % соответственно. Максимальные значения открытой пористости приурочены к песчаникам с высоким (более 90 %) содержанием кварца, минимальные – к песчаникам с повышенным содержанием глинистого материала в породе (глуб. 1068,6 м, 1080,2, 1091,6, 1114,8 м). Отмечается тенденция роста с глубиной проницаемости пород для газа от 250 в кровле отложений до 550 мД в подошве и для воды от 200 до 500 мД. Очевидно, это связано с преобладанием более глинистых пород в верхней половине отложений по отношению к нижней (см. таблицу). Кроме того, для ряда образцов отмечается значительное уменьшение проницаемости пород, которое связано с двумя основными причинами – присутствием глинистых

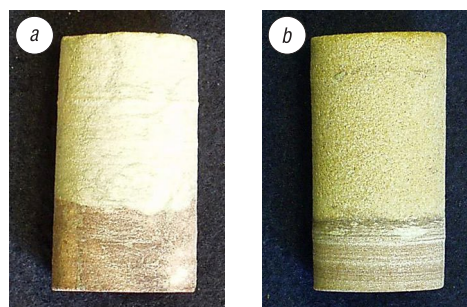


Рис. 5. Контакт песчаника среднезернистого (верхняя часть керна) и мелкозернистого с глинистым цементом (*a*) и контакт песчаника мелкозернистого без цемента (верхняя часть керна) с каолинит-гидрослюдистым цементом (*b*)

Fig. 5. Medium-grained sandstone (top of the drill sample) and fine-grained sandstone contact with argillaceous cement (*a*) and fine-grained sandstone without cement (top of the drill sample) contact with kaolin-hydromicaceous cement (*b*)

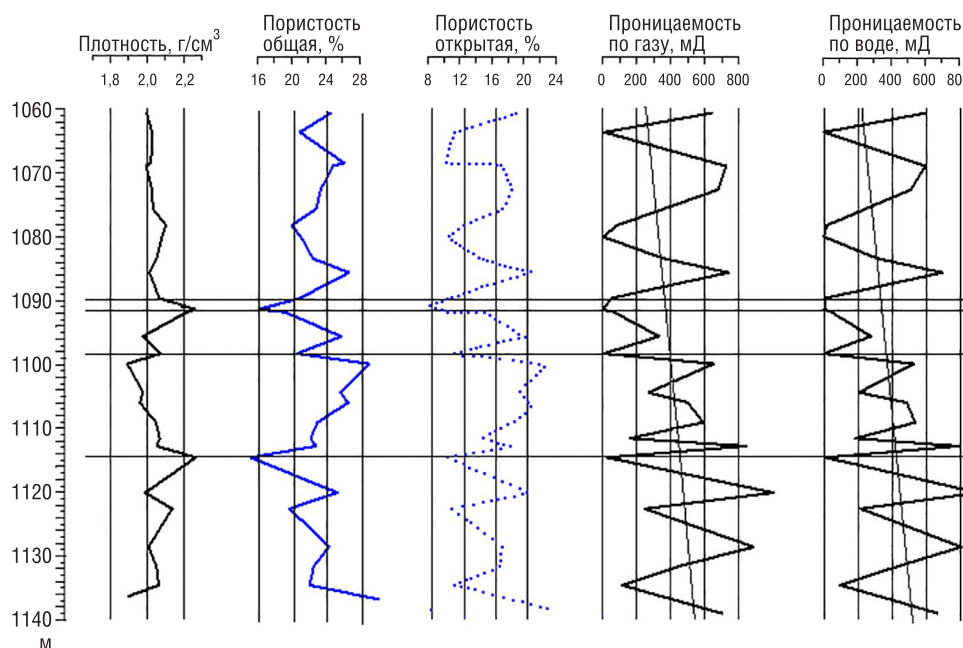


Рис. 6. Изменение физических и гидродинамических параметров пород спановской свиты по глубине скв. 74 (проницаемость определена вдоль оси керна)

Fig. 6. Change of physical and dynamic parameters of rocks of span series with depth in well 74 (permeability determined along the core sample axis)

минералов и в меньшей степени с плотностью пород и, как следствие, резким уменьшением их порового пространства. Это породы на глубинах 1068,6 м, 1080,2, 1091,6, 1098,5, 1114,8 м, для которых проницаемость по газу составляет десятые и сотые доли миллиарда.

Породы с весьма низкой проницаемостью характеризуются высокой остаточной водонасыщенностью, которая определяется структурой порового пространства и степенью его заполнения цементным веществом. В изучаемых породах остается в среднем 25 % воды после центрифугирования. В отдельных породах с существенной примесью глинистых минералов (глуб. 1068,6 м, 1080,2, 1091,6, 1114,8 м) количество остаточной воды возрастает до 50–60 %. Отмечается закономерность обратной связи остаточной водонасыщенности с открытой пористостью и проницаемостью пород. В песчаниках с высокой остаточной насыщенностью водой открытая пористость и проницаемость резко уменьшаются. Большинство изученных пород характеризуются умеренной остаточной водонасыщенностью и обладают достаточно высокой открытой пористостью и проницаемостью.

Заключение. Выявлены основные особенности вещественного состава и физических свойств спановских пород Прибугской структуры на примере исследования образцов керна скв. 74. Большинство исследованных пород представлено песчаником мелкозернистым, реже среднезернистым, мономинеральным кварцевым с содержанием кварца больше 90 %. Примесь калиевых шпатов, слюд и минералов тяжелой фракции не превышает 10 %. Цемент каолинит-гидрослюдистый, пленочного, базально-порового и порово-базального типов с примесями гидроокислов железа. Наиболее пористые песчаники характеризуются отсутствием цемента. Их проницаемость достигает 800 мД, остаточная водонасыщенность 20–25 %. Степень пористости песчаников определяется, с одной стороны, гранулометрическим составом, с другой стороны – типом цементации. В наименее пористых образцах пород цемент преимущественно глинистый; карбонатный цемент отсутствует.

Повышенные содержания алюминия, калия, железа и магния в породах связаны с присутствием глинистых минералов и полевых шпатов. Основными глинистыми минералами пород являются гидрослюда и каолинит, причем для наиболее глинистых пород характерно значимое

превышение гидрослюды над каолинитом, что приводит к существенному снижению их проницаемости, высокой остаточной водонасыщенности (50–60 %). Такие породы расположены на глубинах 1068,6, 1098,5, 1114,8 м. В интервале глубин 1089,8–1092,0 м расположен пропласток пород с весьма низкой проницаемостью – сотые доли миллидарси.

Таким образом, изученные спановские породы в большинстве образцов являются высококачественными коллекторами, пригодными для эффективной эксплуатации в условиях ПХГ. Однако в разрезе отложений имеются маломощные пропластки пород с повышенной глинистостью и весьма низкой проницаемостью, способные быть локальной крышкой и удерживать значительные объемы газа в пределах структуры. При технологическом планировании создания и эксплуатации искусственной газовой залежи в рассматриваемых отложениях необходимо учитывать местоположение таких пропластков.

Благодарности. Авторы благодарны сотрудникам отдела физико-химических методов исследований государственного предприятия «БелНИГРИ», которые выполнили основные объемы лабораторных исследований керна.

Acknowledgements. The authors are grateful to the Department of Physico-Chemical Investigation Methods of BelNIGRI State enterprise personnel, which fulfilled the main volume of laboratory research core.

Список использованных источников

1. Тектоника запада Восточно-Европейской платформы: Проект N 86 МПГК «Вост.-Европ. платформа (юго-зап. край)»/ Р.Г. Гарецкий, Р.Е. Айзберг, Э.А. Левков; под ред. Р.Г. Гарецкого; АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики, Белорус. ком. по Междунар. прогр. геол. корреляции, Комис. по тектонике Белоруссии и Прибалтики. – Минск: Наука и техника, 1990. – 168 с.
2. Зиновенко, Г.В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий / Г.В. Зиновенко; под ред. Р.Г. Гарецкого; АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики НАН Беларуси. – Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с.
3. Абраменко, В.И. Корреляция кембрийских отложений южной части Подляско-Брестской впадины / В.И. Абраменко, Г.В. Зиновенко, Л.В. Пискун // Докл. АН БССР. – 1989. – Т. 33, №6. – С. 557–560.
4. Левашкевич, В.Г. Вещественный состав и физические свойства горных пород нижнего кембрия и верхнего протерозоя Прибугской структуры Подляско-Брестской впадины / В.Г. Левашкевич // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – №1. – С. 89–98.
5. Семенов, Е.О. Оценка экраняющих характеристик глинистых пород кембрийско-силурийского возраста Прибугского ПХГ / Е.О. Семенов, О.Г. Семенов, С.А. Хан // Газовая промышленность. – 2014. – №11. – С. 43–46.
6. Зиновенко, Г.В. Балтийская серия нижнего кембрия Прибугского поднятия и основные закономерности её строения / Г.В. Зиновенко, Т.В. Воскобойникова // Литасфера. – 2007. – №2 (27). – С. 115–120.
7. Левашкевич, В.Г. Геотермия запада Восточно-Европейской платформы / В.Г. Левашкевич. – Минск: Беларус. наука, 2013. – 153 с.
8. Котельников, Д.Д. Глинистые минералы осадочных пород / Д.Д. Котельников, А.И. Конюхов. – М.: Недра, 1986. – 247 с.

References

1. Garetskii R. G. (ed.), Aizberg R. E., Levkov E. A. *Tectonic of the west of the East-European platform*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 168 p. (in Russian).
2. Zinovenko G. V. *Baltic-Dniester pericratonic subsidence zone*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1986. 215 p. (in Russian).
3. Abramenko V. I., Zinovenko G. V., Piskun L. V. Correlation of Cambrian sediments of the southern part of Podlesse-Brest depression. *Doklady Akademii nauk BSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the BSSR]. 1989, vol. 33, no. 6, pp. 557–560 (in Russian).
4. Levashkevich V. G. The material composition and physical properties of lower Cambrian and upper Proterozoic rocks of the Bug structure in the Podlesse-Brest depression. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2017, no. 1, pp. 89–98 (in Russian).
5. Semenov E. O., Semenov P. G., Khan S. A. Evaluation of protective characteristics of the Silur-Cambrian rocks clay of the Pribug UGS. *Gazovaya promyshlennost = Gas Industry Magazine*, 2014, no. 11, pp. 43–46 (in Russian).
6. Zinovenko G. V., Voskoboynikova T. V. Baltic series of lower Cambrian Pribug raising and main regularities of its structure. *Litasfera = Lithosphere*, 2007, no. 2(27), pp. 115–120 (in Russian).
7. Levashkevich V. G. *Geothermy of the West of the East European platform*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013. 153 p. (in Russian).
8. Kotelnikov D. D., Konykhov A. I. *Clay minerals of sedimentary rocks*. Moscow, Nedra Publ., 1986. 247 p. (in Russian).

Информация об авторах

Левашкевич Владимир Георгиевич – д-р геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: levashk@presidium.bas-net.by

Самодуров Владимир Петрович – канд. геол.-минерал. наук, доцент, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 16, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vladimir_samodurov@tut.by

Шпак Сергей Евгеньевич – вед. геолог, Открытое акционерное общество «Газпром трансгаз Беларусь» (ул. Некрасова, 9, 220040, Минск, Республика Беларусь). E-mail: style28@tut.by

Information about the authors

Vladimir G. Levashkevich – D. Sc. (Geological-mineralogical), Leading Researcher, Institute for Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina, Str., Minsk, Republic of Belarus). E-mail: levashk@presidium.bas-net.by

Vladimir P. Samodurov – Ph. D. (Geological-mineralogical), Associate Professor, Belarusian State University (16, Leningradskaya, Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladimir_samodurov@tut.by

Sergei E. Shpak – Leading geologist, Open Joint Stock Company «Gazprom Transgaz Belarus» (9, Nekrasova, Str., Minsk, Republic of Belarus). E-mail: style28@tut.by