

**ГЕАХІМІЯ
ГЕОСЕМІСТРЫ**

УДК 552.08(375)

Поступила в редакцию 04.10.2016

Received 04.10.2016

В. Г. Левашкевич

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ГОРНЫХ ПОРОД НИЖНЕГО КЕМБРИЯ И ВЕРХНЕГО ПРОТЕРОЗОЯ
ПРИБУГСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ**

Изучен вещественный состав и физические свойства горных пород нижнекембрийских (страдечская и рытская свиты) и вендских (котлинская свита) стратиграфических подразделений из скважин Прибугской структуры, расположенных в пределах одноименного подземного хранилища газа. Установлены закономерности изменения по глубине вещественного состава, геохимических, геофизических и др. параметров пород-коллекторов и пород-покрышек хранилища, имеющие важное значение при выборе системы регулирования пластовой энергией газа и оценке безопасности эксплуатации хранилища.

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

V. G. Levashkevich

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**THE MATERIAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS OF LOWER CAMBRIAN
AND UPPER PROTEROZOIC OF THE BUG STRUCTURE OF THE PODLESSE-BREST DEPRESSION**

The material composition and physical properties of rocks from Lower Cambrian (Stradech and Ryta series) and Wend (Kotlin series) stratigraphic units from Bug structure wells, located within the eponymous underground gas storage facility, have been studied. The regularities of depth dependence for geochemical, geophysical, etc. parameters of reservoir rocks and cover rocks have been established. They are important when selecting a regulatory system for formation gas energy and storage operation safety assessment.

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

Введение. Прибугская структура расположена в 30 км к северо-западу от г. Бреста. Основная залежь одноименного (Прибугского) подземного хранилища газа (ПХГ) приурочена к антиклинальной структуре северо-восточного простирания, отложения которой образуют коленчатый изгиб (флексуру) с разрывным нарушением на опущенном крыле [1, 2]. По результатам разведочного бурения рекомендованы три объекта для использования под подземное хранение газа — нижнестрадечский, спановский и орлинский пласты-коллекторы кембрийского возраста [3]. В настоящее время эти объекты в разной степени уже используются в процессе хранения газа. Кроме того, расширяются работы по вовлечению в процесс хранения газа горизонтов котлинской свиты верхнепротерозойского комплекса пород.

Работа посвящена изучению вещественного состава, количественных и качественных характеристик емкостных и фильтрационных параметров пород, а также прослеживанию их изменений по латерали и вертикали структуры на примере данных комплексных лабораторных

исследований вещественного состава и физических свойств горных пород по образцам керна из скв. 44 и 71. Изучено 48 образцов пород из скв. 44 и 46 образцов из скв. 71. Наиболее полно охвачены исследованиями породы основной покрывки хранилища (ϵ_1 str 3-2) из скв. 44 (18 шт.), породы основного пласта-коллектора (ϵ_1 str 2-1) из скв. 44 и 71 (18 и 15 шт. соответственно). Находящиеся в подошве балтийской серии отложения рытской свиты (ϵ_1 rt) изучены по 3 образцам из скв. 44 и 12 обр. из скв. 71. Котлинские отложения венда (V_2 kt) исследованы по 30 образцам (по 15 из каждой скважины). Скважины расположены преимущественно в купольной части структуры.

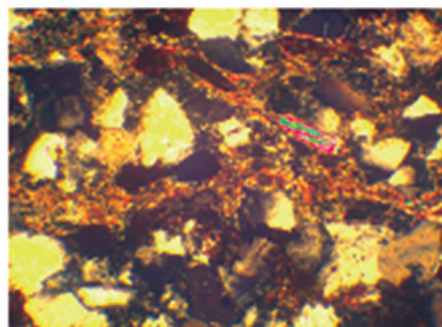
Лабораторные исследования включали следующие виды анализов: петрографическое описание пород по шлифам, исследование химического, гранулометрического составов пород, определение карбонатности и глинистых минералов в породах, измерение электрического сопротивления пород, определение плотности, пористости (открытой и закрытой) и проницаемости (по газу и по пластовой воде) на специально подготовленных образцах.

Методы исследования. Определения исследуемых параметров выполнены по общепринятым методикам в соответствии с действующими ГОСТами. Химический состав пород определен рентгеноспектральным методом на квантометре СРМ-18, карбонатность – комплексом методов: дифференциально-термическим анализом на дериватографе фирмы МОМ (Венгрия) с контролем общего содержания карбонатов в породе с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на квантометре СРМ-18. Количественное содержание отдельных карбонатов и их соотношение определены на основе количественного рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-3М.

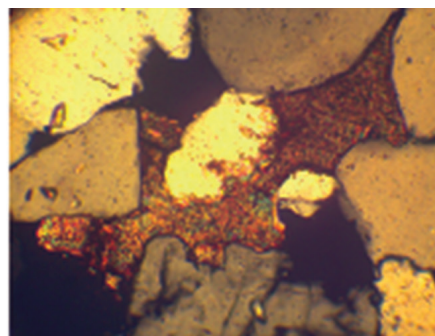
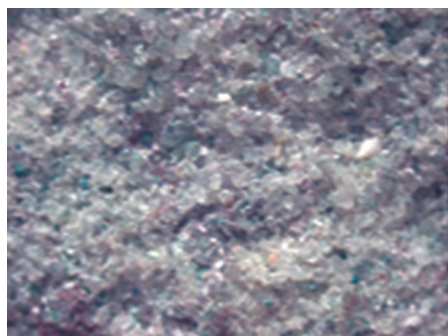
Гранулометрический состав пород для порошков с размерами зерен более 40 мкм оценивали с помощью просеивания песчаной фракции через набор сит в соответствии с методикой [4]. Для более дисперсных частиц применен метод седиментации [5] и микроскопический анализ с помощью электронного микроскопа [6] и сканирующего электронного микроскопа JSM-35С (Япония). Породы дезинтегрировали в ступке с помощью резинового пестика с целью исключения истирания компонентов пород. Для гранулометрического анализа песчаных фракций использовали стандартный набор сит. Глинистую фракцию выделяли методом отмучивания в воде.

Абсолютную газопроницаемость пород определяли по азоту в крест напластования и по напластованию слоев в соответствии с работой [7]. Данные проницаемости пород по воде получены с помощью жидкостного пермеаметра на цилиндрических образцах, помещенных в кернодержатель Хассера. Общую и открытую пористости определяли в соответствии с требованиями [8]. Определения остаточной водонасыщенности пород выполняли по методу центрифугирования проб с 1000-g гравитацией в течение часа.

Результаты и их обсуждение. *Химический состав пород.* Химический состав отражает вариации содержания породообразующих минералов и минералов-примесей в породе. Для изучения химического состава пород использовали керн скв. 44 и 71. На рис. 1 приведены наиболее представительные иллюстрации страдечских (ϵ_1 str 3-2 – покрывка и ϵ_1 str 2-1 – коллектор) и рытских пород кембрия (ϵ_1 rt), а также котлинских пород венда (V_2 kt) из различных глубин указан-



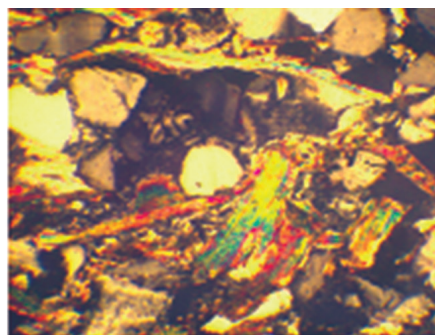
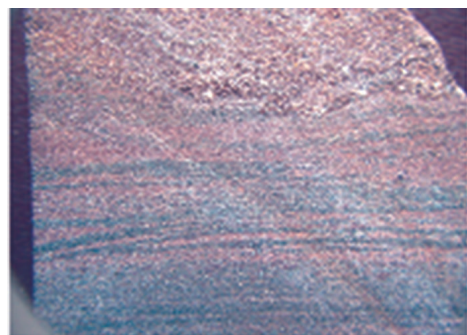
ϵ_1 str 3-2, скв. 44, глуб. 1163,0 м. Порода представлена чередованием микропрослоев глины аргиллитоподобной темно-серой, слюистой, пиритизированной и песчаника мелкозернистого алевритового полевошпатово-кварцевого с глауконитом, неравномерно глинистого с каолинит-гидрослюдистым составом глины, с катагенетическими структурами цементации и выделениями доломита в межзерновых порах. Отмечено присутствие зерен фосфоритов



Є₁ str 2-1, скв. 44, глуб. 1228,0 м. Песчаник разномелкозернистый, алевролитистый, кварцевый, с примесью зерен полевых шпатов, глауконита, зерен фосфата, с редкими порами, выполненными микроагрегатным каолинитом. Цемент распределен неравномерно, доломитовый, средне-мелкозернистый, представлен окислами железа и карбонатами. Поры выполнены цементом не полностью, их центральная часть остается свободной и формирует свободное пространство



Є₁ rt, скв. 71, глуб. 1235,0 м. Песчаник мелкозернистый, хорошо сортированный, алевролитистый, глауконит-полевошпатово-кварцевый, слабослюдистый, линзовидно-слоистый, послойно глинистый, с редкими вкраплениями доломита в цементе и присутствием зерен фосфата. Прослойки глины извиваются в межзерновых пространствах и цементируют породу



V₂ kt, скв. 71, глуб. 1249,6 м. Порода представляет собой кору выветривания котлинского горизонта. Алевролит песчаный, хорошо сортированный, полевошпатово-кварцевый, послойно слюдистый, с глинисто-железистым цементом порового типа. Слюда распределена в породе неравномерно, образуя прослоевидные скопления. Цемент глинисто-железистого состава

А

Б

Рис. 1. Фото пород (А) и шлифов (Б) различных стратиграфических подразделений Прибугской структуры и их краткое петрографическое описание

Fig. 1. Photos of rocks (A) and thin sections (B) of various stratigraphic divisions from Bug structure, and their brief petrographic description

ных скважин (А) и их шлифов (Б) в поляризованном свете (×90). Для каждой группы снимков дано краткое петрографическое описание исследуемых пород с использованием результатов лабораторных исследований их минерального состава.

Основные результаты лабораторных исследований химического состава пород в виде кривых изменения содержания породообразующих минералов по глубине в сопоставлении с графиком изменения гамма-активности пород (ГК) приведены на рис. 2.

Главным породообразующим минералом рассматриваемых пород является кварц. Его содержание по глубине отложений изменяется от 50 до 85%. Максимальные значения кварца (75–90%) отмечены для песчаников основного пласта-коллектора ϵ_1 str 2-1 и рытских отложений.

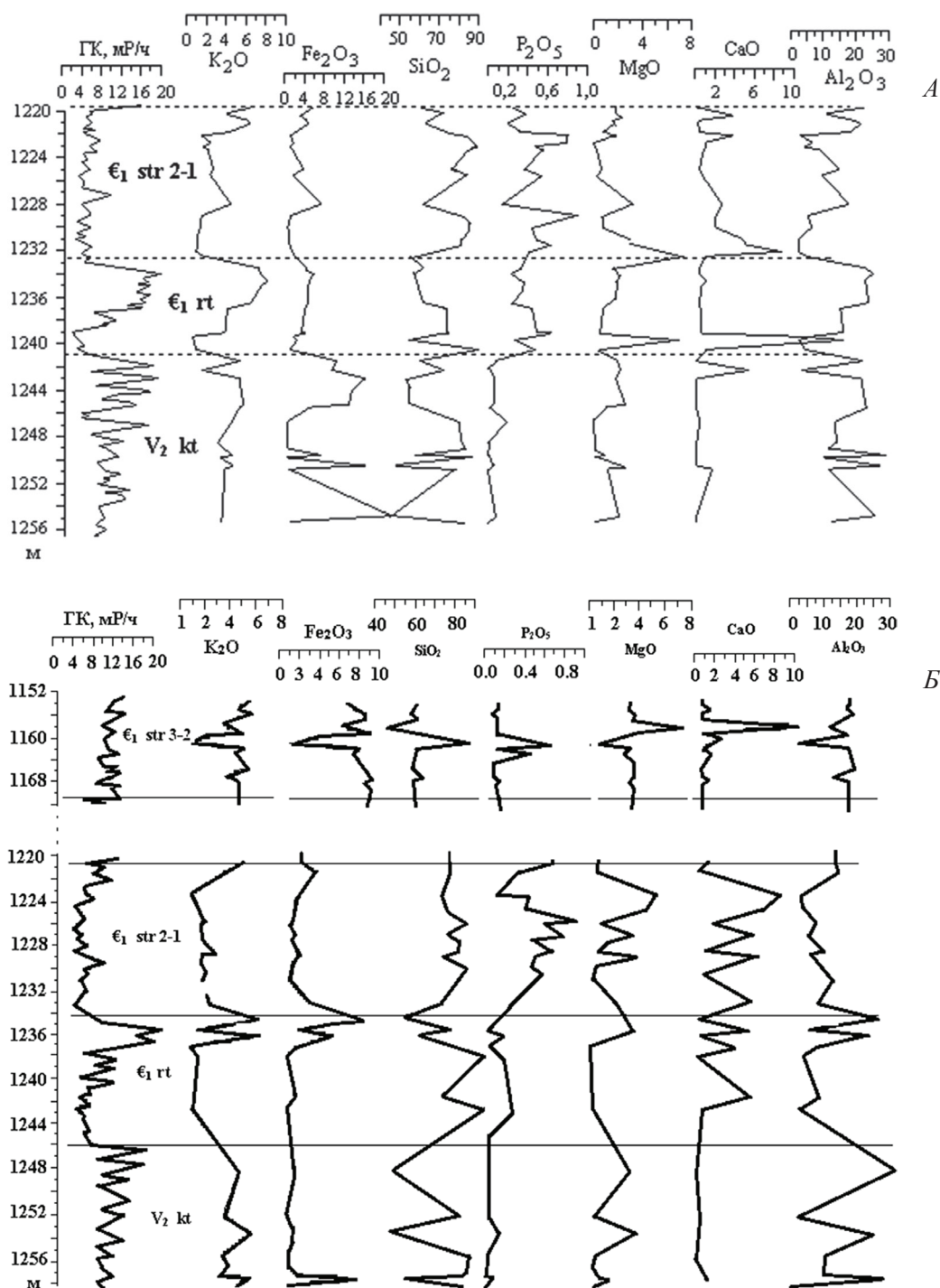


Рис. 2. Изменение параметров химического состава пород по глубине скв. 71 (А) и 44 (В) для образцов страдечских, рытских и котлинских стратиграфических подразделений

Fig. 2. Change of chemical composition parameters with depth in wells 71 (A) and 44 (B) for samples of Stradech, Ryta and Kotlin stratigraphic series

В целом установлено полное отсутствие хлоридов в породах, а также весьма низкое содержание сульфатов (на рис. 2 данные не приведены). Химические компоненты пород для рассматриваемых стратиграфических подразделений достаточно четко коррелируют между собой и могут являться дополнительным критерием выделения разностей пород по фильтрационно-емкостным параметрам.

Так, верхнестрадачские отложения (ϵ_1 str 3-2) по данным гамма-каротажа скв. 44 (рис. 2, Б) сложены преимущественно однородными глинистыми разностями, представляющими региональную покрывку в пределах структуры. Однако исследования химического состава этих отложений указывают на наличие в интервале глубин 1159,6–1161,0 м пропластка пород с резко пониженными значениями калия, железа, магния, алюминия и повышенными содержаниями кварца, что характерно для пористых песчаников с равномерным гидрослюдисто-каолинистым цементом контактово-порового типа. Как правило, такие породы не отличаются от соседних пород по данным радиоактивного каротажа скважин и не выделяются на соответствующих графиках.

Песчаники основного пласта-коллектора (ϵ_1 str 2-1) характеризуются высоким содержанием кварца (до 85 %) и низкими значениями химических параметров (K_2O , Al_2O_3), которые имеют тесную связь с наличием глинистых компонентов в породе (рис. 2). Только в кровле образований отмечается присутствие интервала пород мощностью до 2 м с повышенным содержанием окисей калия и алюминия, которые концентрируются преимущественно в гидрослюдах и калиевых полевых шпатах, характерных для пород-покрывок. Этот участок пород отмечается, кроме того, снижением содержания кварца. Как будет показано ниже, породы с такими химическими параметрами обладают пониженной пористостью и проницаемостью из-за особенностей развития межзернового пространства и матрицы. Очевидно, участки таких пород не могут быть рекомендованы к перфорации в эксплуатационных скважинах.

Характерной особенностью в изменении химических параметров выделяются породы рывской свиты (ϵ_1 rt) в основании кембрийских образований. Расположенные в кровле свиты породы характеризуются повышенными значениями радиоактивности, окислов калия, железа и алюминия, которые концентрируются в основном в полевых шпатах и глинистых разностях пород. Такие породы имеют, как правило, низкие фильтрационно-емкостные свойства и могут быть отнесены к покрывке. В подошве отложений расположены песчаники с резко пониженными значениями K_2O , Al_2O_3 и малой концентрацией радиоактивных элементов.

Достаточно резкими вариациями практически всех химических параметров характеризуются котлинские породы венда (V_2 kt). В пределах этих образований по отдельным значениям химических параметров выделяются пропластки пород различной мощности. Так, в кровле расположены породы с повышенными значениями окислов калия, железа (скв. 71), магния, алюминия и пониженными значениями кварца, что характерно для пород со значительным содержанием глинистых компонентов и, как следствие, с пониженными фильтрационно-емкостными свойствами. Ниже выделяется толща песчаных пород с практически отсутствием окислов железа и магния, пониженными содержаниями окислов калия и алюминия и повышенными значениями (более 80 %) кварца. Такие породы, как правило, имеют высокие фильтрационно-емкостные свойства и могут являться коллекторами.

Одной из особенностей изменения химических параметров пород по глубине всех исследуемых скважин Прибугской структуры является резкое уменьшение оксидов фосфора и кальция для пород, подстилающих кембрийские образования. Очевидно, это связано с появлением впервые в истории Земли с этого времени организмов с хитиново-фосфатным или известковистым скелетом [9]. В этом случае за нижнюю границу кембрия (рывской свиты) и протерозоя может быть принята граница исчезновения этих пороодообразующих минералов.

Анализ показывает, что образцы протерозойских пород в целом характеризуются резкими вариациями содержания пороодообразующих минералов, отражая переслаивание песчанистых и глинистых разностей.

Гранулометрический и минеральный составы пород. Исследования гранулометрического состава горных пород (коллекторов, покрывок), направленные на определение степени дисперсности минеральных частиц независимо от их химического или минералогического составов,

имеют важное значение в понимании геологических условий осадконакопления и формирования многих физических свойств пород, среди которых определяющими для отложений ПХГ являются пористость, проницаемость, остаточная водогазонасыщенность. При характеристике пород использовали следующую классификацию зерен по их крупности: гравий – 10,0–1,0 мм, песок – 1,0–0,1 мм, алеврит – 0,1–0,01 мм, глина – $< 0,01$ мм с выделением тонкодисперсной фракции со значениями зерен $< 0,002$ мм.

Анализ изменения гранулометрического состава образцов пород основной покрышки хранилища (Є₁ str 3-2) скв. 71 и 44 и их петрографического описания показывает, что в интервале этих образований породы представлены преимущественно алевритом, полевошпатово-кварцевым, слюдыстым, с примесью зерен глауконита, с глинистым пленочно-поровым или каолинит-гидрослюдистым цементом контактово-порового типа, с редкими примесями доломита мелко-среднезернистой структуры, с прослойками глины каолинит-гидрослюдистой, участками с катагенетическим типом конформного сочленения зерен. Соотношение отмеченных элементов для каждой пробы породы разное.

Глина приурочена к нечетко выраженным прослоям и сложена горизонтально ориентированными образованиями гидрослюды и каолинита. Часто цемент распределен спорадически, за счет чего зерна цементируются по принципу плотной упаковки по типу соприкосновения и вдавливания. В минеральном составе обломочного материала преобладает кварц, каолинит, гидрослюда. Подчиненное значение имеет доломит, полевой шпат. Присутствуют зерна фосфата, чешуйки слюды. Кварц часто представлен бесцветными угловато-окатанными и угловатыми зернами, неправильно-изометричной формы, редко узкими, иногда трещиноватыми.

Глинистое вещество приурочено к тонким нитевидным прослойкам, невыдержанным по мощности и по простиранию. Цвет глины слегка буроватый от тонкого пропитывания распыленными бурыми окислами железа; текстура преимущественно ориентированная параллельно напластованию. Структура тонкочешуйчатая, реже микроагрегатная, состав каолинит-гидрослюдистый. Каолинит также встречается в порах на участках, где цементация осуществляется по типу соприкосновения и вдавливания.

Соотношение каолинита и гидрослюды варьирует, но в большинстве случаев каолинит преобладает по отношению к гидрослюде. Глинистость пород (содержание тонкодисперстной фракции глины) составляет в среднем 12–25 мас.%, за исключением образца с глубины 1167,0 м (скв. 71), где она достигает 62,4 мас.%. Для образца с глубины 1161,0 м глинистость составляет 7,49 мас.%, что свидетельствует о наличии в породах-покрышках алеврито-песчаного прослоя с преобладанием зерен мелкого гравия. Породы на этой глубине выделяются и по ряду химических элементов, свидетельствуя об их принадлежности к песчаному ряду. Однако наличие цементирующего вещества с преобладанием группы каолинита и гидрослюды, заполняющего поры, резко снижает пористость и проницаемость таких пород.

Породы пласта-коллектора (Є₁ str 2-1) исследуемых скважин представлены песчаником с различным гранулометрическим составом. Они характеризуются малой глинистостью (0–5%), за исключением образцов пород из кровельной части отложений (интервал глубин 1220,0–1222,0 м) с повышенным содержанием глинистых минералов группы каолинита и гидрослюды (до 40%). По вертикали породы характеризуются в основном мономинеральным составом с преобладанием кварца. Несмотря на простоту минерального состава, эти породы отличаются широким спектром фильтрационно-емкостных свойств, что связано с неоднородностью и разнообразностью их порового пространства. Неравномерность в разбросе таких свойств породы оказывают форма зерен и особенности их упаковки в матрице, что связано с процессами перестройки матрицы в процессе литогенеза.

Анализ результатов исследования вещественного состава и физических свойств пород рассматриваемых стратиграфических подразделений показал, что породы основного пласта-коллектора могли быть организованы за счет перестройки матрицы коллектора и его цемента в ходе стадийных процессов геологического развития территории. В ходе перекристаллизации обломочной матрицы пород коллектора обычно происходят процессы, нарушающие и изменяющие первичную структуру порового пространства и его минерального состава. При этом часто происходит разложение неустойчивых элементов матрицы и цемента и рекристаллизация устойчи-

вых минералов, конечной стадией которых становится кварц, меняющий свою форму и принимающий кристаллографические очертания. Такие образования часто могут переходить в непроницаемые или частично проницаемые участки с увеличенной извилистостью пор и изменением их направленности, что наблюдается для кровли рассматриваемых стратиграфических подразделений.

Карбонатность и удельное электрическое сопротивление пород. Удельное электрическое сопротивление пород, определенное в лабораторных условиях, существенно зависит от электропроводности воды, используемой для насыщения образцов. В наших экспериментах использована вода, отобранная в полевых условиях из основного пласта-коллектора страдечских отложений Прибугской структуры. Определение электрического сопротивления проводили в основном вдоль напластования слоев. Результаты показывают высокую степень соответствия характера изменения электрического сопротивления, карбонатности (содержание доломита и кальцита) и содержания доломита в породах с изменением их химических компонентов.

Породы (песчаники) основного пласта-коллектора (ϵ_1 стр 2-1) характеризуются в целом пониженными значениями электрического сопротивления (40–90 Ом·м) и карбонатности (1–8%). По электрическому сопротивлению в кровле отложений выделяется интервал пород мощностью 2–3 м с высоким содержанием карбонатности (в основном за счет значений кальцита – до 20–25%), что непосредственно отражается на повышении их электрического сопротивления (до 500 Ом·м), снижении пористости и проницаемости. Очевидно, участки таких пород не могут быть рекомендованы к перфорации в эксплуатационных скважинах. Для района скв. 44 это интервал глубин 1221–1225 м, для скв. 71 – 1220–1222,5 м. Анализ данных показывает, что отдельные интервалы пород с высокой доломитизацией и повышенным электрическим сопротивлением отмечаются и в других участках основного пласта-коллектора, характеризуя изменение (уменьшение) их проницаемости и наличие слоистости.

Результаты показывают, что удельное электрическое сопротивление пород перпендикулярно слоистости в 2 и более раза превышает сопротивление параллельно слоистости. Это лишний раз подтверждает наличие ленточной пористости в породе, т. е. свободное поровое пространство располагается в основном в области соприкосновения слоев.

Котлинские породы (песчаник, алевролит) характеризуются в целом весьма низкой карбонатностью (в основном за счет отсутствия кальцита), вариациями электрического сопротивления, пористости и проницаемости по глубине. При этом повышенному электрическому сопротивлению пород (400–500 Ом·м) соответствует повышение карбонатности (до 25%) за счет более высоких значений доломита в цементе. В этом случае следует ожидать изменения спаянности зерен в породе и пониженную проницаемость песчаников в рассматриваемых стратиграфических образованиях. Как и для страдечских пород пласта-коллектора отмечается более высокое электрическое сопротивление пород перпендикулярно их слоистости, характеризуя преимущественную проницаемость по напластованию слоев.

Плотность, пористость, проницаемость и остаточная водонасыщенность пород. Исследования гидродинамических и емкостных свойств пород рассматриваемых скважин выполнялись с целью выяснения тенденции изменения этих параметров по глубине, их соотношения с изученным вещественным составом пород. Эти физические параметры горных пород являются основными при расчете технологических режимов эксплуатации ПХГ.

Результаты изучения емкостных свойств пород основного пласта-коллектора и нижележащих горизонтов получены в лабораторных условиях по стандартным методикам и отражают величины этих параметров в нормальных условиях. Проницаемость пород определена при их полном насыщении пластовой водой.

При анализе результатов химических параметров, гранулометрического и минерального составов пород указывалось, что даже одноименные породы из одних и тех же стратиграфических подразделений могут характеризоваться резкими вариациями фильтрационно-емкостных свойств из-за особенностей развития их межзернового пространства и матрицы. В связи с этим исследований химического, гранулометрического, минерального и др. составов пород недостаточно для оценки их физических параметров. Необходимы специальные исследования для получения их абсолютных значений в натурных условиях.

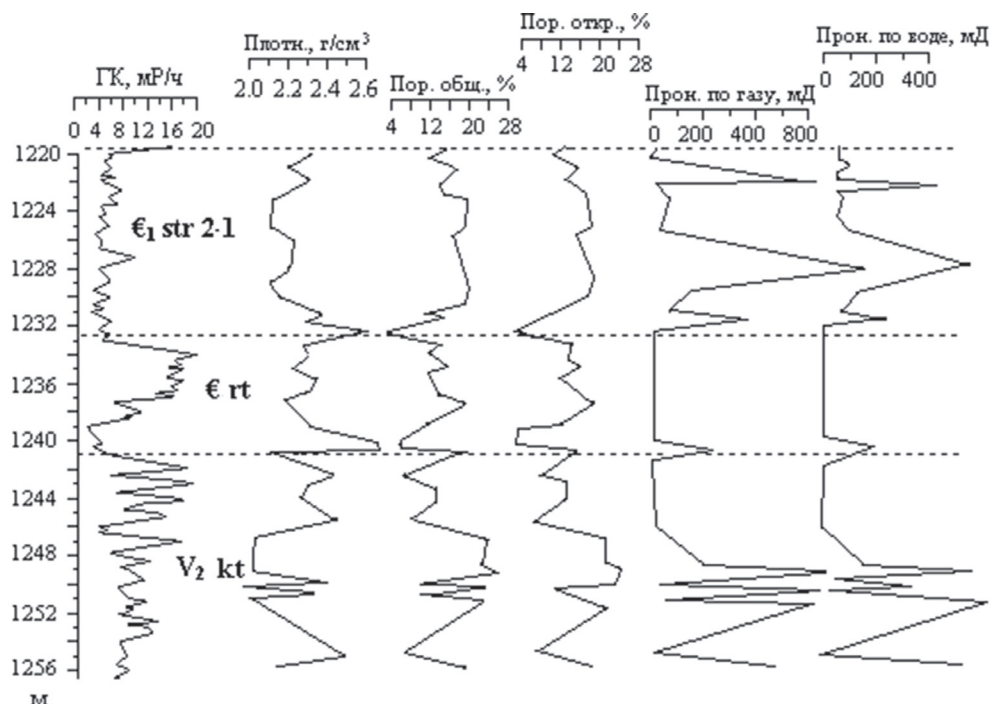


Рис. 3. Изменение физических параметров горных пород по глубине скв. 71
(проницаемость пород определена вдоль оси керна)

Fig. 3. Change of physical parameters with depth in well 71 (rock permeability determined along the core sample axis)

На рис. 3 приведены результаты исследования физических свойств горных пород скв. 71, отобранных из основного пласта-коллектора нижнестратиграфических образований (ϵ_1 str 2-1), рытской свиты кембрия (ϵ rt) и котлинских образований венда (V_2 kt).

В начале работы нами показано, что основной пласт-коллектор в литологическом отношении является типично терригенным, представленным тонко- и мелкозернистыми породами, преимущественно песчаниками, с различной степенью сортировки зерен. По вертикали эти породы характеризуются в основном мономинеральным составом с преобладанием кварца. Крайнюю неравномерность в разбросе фильтрационно-емкостных свойств породы оказывают форма зерен и особенности их упаковки в матрице, распределение цемента и характер катагенетических преобразований в процессе развития. Такие особенности установлены нами при описании вещественного состава и физических свойств пород, расположенных преимущественно в кровле и на отдельных глубинах исследованных горизонтов, для скв. 44 и 71.

Как следует из данных рис. 3, в кровле основного пласта-коллектора (ϵ_1 str 2-1) в интервале глубин 1220–1221,8 м породы (песчаник) характеризуются повышенной плотностью (2,3 г/см³), пониженной общей (14,0–15,0%) и открытой (12,0–13,0%) пористостями, низкой проницаемостью вдоль оси керна по газу (~ 1,0 мД) и по воде (< 0,5 мД), высокой остаточной водонасыщенностью (до 35,0%). По физическим свойствам такие породы сравнимы с аналогичными породами пласта-покрышки. Глубже расположенные породы (песчаники) выделяются более высокой общей и открытой пористостью (17,0–22,0%), проницаемостью вдоль оси керна по газу (100–200 мД с отдельными значениями до 600–800 мД) и остаточной водонасыщенностью (~ 30,0%). Как правило, значения проницаемости по напластованию (поперек оси керна) превышали приведенные данные проницаемости вдоль оси керна в 2–3 раза, отражая ориентированность пор по напластованию образований. Такие значения физических параметров присущи и для пород скв. 44.

Рытские отложения в кровельной части, характеризующиеся повышенной гамма-активностью, представлены в основном плотным (2,4 г/см³) песчаником глауконит-полевошпатово-кварцевым, преимущественно мелкозернистым, с глинисто-железистым цементом порового типа, неравномерно горизонтально слоистым. Глинистое вещество обычно приурочено к тонким нитевидным прослойкам, невыдержанным по мощности и по простираанию. Текстура глины пре-

имущественно ориентированная параллельно напластованию, что приводит к значительному снижению проницаемости вдоль оси керна. Практически все образцы керна рытских отложений показали низкую проницаемость (единицы мД) за исключением образцов в подошве этих образований (скв. 71, глубина – 1240,5 м, проницаемость – 239 мД; скв. 44, глубина – 1237,5 м, проницаемость – 1200 мД, глубина – 1238,3 м, проницаемость – 901 мД).

Котлинские породы в рассматриваемых скважинах характеризуются преимущественно вариациями физических свойств, проницаемость которых изменяется от единиц до 1500 мД для отдельных образцов керна, отражая чередование пропластков с преимущественно глинистым типом пород с высокопористыми (до 28 %) песчаными.

Заключение. Анализ приведенного материала позволяет сделать выводы относительно изолирующей способности пород основной покрышки хранилища и отдельных горизонтов, а также фильтрационно-емкостных свойствах основного пласта-коллектора Прибугской структуры.

Исследованиями установлено, что породы основного пласта-покрышки представлены в основном алевролитом полевошпатово-кварцевым, с примесью зерен глауконита, фосфата, чередованием послойно глинистыми, глинисто-слюдистыми прослойками. Пористость породы обусловлена наличием пор, расположенных преимущественно по напластованию слоев (ленточная пористость), что обуславливает более высокую проницаемость поперек оси керна и пониженную в разы – вдоль оси керна, что свидетельствует о явной анизотропии петрофизических свойств породы. В горизонтальном направлении породы пласта-покрышки могут быть в пределах хранилища проницаемы и содержать определенное количество газа в случае его туда поступления. Однако повышенное содержание глинистой фракции в породах исследуемых образований и весьма низкая проницаемость пород вдоль оси керна позволяет считать, что изолирующие свойства покрышки могут быть высокими, особенно учитывая ее мощность.

Установлено, что во всех стратиграфических подразделениях суммарное железо концентрируется больше в глинистых породах, чем в песчано-алевритовых. Глинистые образцы также характеризуются высоким содержанием окиси алюминия. Алюминий, калий и железо являются хорошими индикаторами глинистости пород, и даже небольшая примесь глинистого материала легко выделяется по химическому анализу.

Установлена резкая неравномерность в разбросе фильтрационно-емкостных свойств кварцевых пород основного пласта-коллектора хранилища, что связано с формой зерен и особенностями их упаковки в матрице, с распределением цемента и характером катагенетических преобразований в процессе развития. Проницаемость песчаников в кровле пласта-коллектора составляет первые единицы мД и сравнима с породами пласта-покрышки. Их остаточная водонасыщенность достигает 40–60%. Глубже расположенные породы (тоже песчаники) имеют проницаемость более 100 мД, а в подошве отложений их проницаемость достигает 800 мД. Остаточная водонасыщенность песчаников основного пласта-коллектора составляет в среднем 30%, что необходимо учитывать в процессе расчета технологических параметров эксплуатации хранилища.

Отложения рытской свиты в основном характеризуются низкой проницаемостью. В нижней части свиты отмечается чередование пород с весьма низкой (первые единицы мД) и высокой (до 1200 мД) проницаемостью вдоль оси керна, хотя их пористость достигает 11–15%. Пористость таких пород ориентирована в основном вдоль напластования. Это относится для интервалов с повышенным и пониженным уровнями ГК. В пределах скв. 44 рытские отложения обладают более изолирующими свойствами, чем в пределах скв. 71.

Котлинские отложения характеризуются резкой слоистостью и соответствующими вариациями вещественного состава и физических свойств, в том числе фильтрационно-емкостных параметров.

Благодарности. Опытные работы проведены в отделе физико-химических методов исследований государственного предприятия «БелНИГРИ». Автор выражает глубокую признательность сотрудникам отдела и руководителю В. П. Самодурову.

Acknowledgements. The experimental part of the work has been conducted in the Department of Physico-Chemical Investigation Methods of BelNIGRI State enterprise. The author is deeply grateful to the department personnel and to its head, V.P.Samodurov.

Список использованных источников

1. Тектоника запада Восточно-Европейской платформы / под ред. Р. Г. Гарецкого. – Минск: Наука и техника, 1990. – 168 с.
2. Зиновенко, Г. В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий / Г. В. Зиновенко. – 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. Порошки металлические. Определение размеров частиц сухим просеиванием: ГОСТ 18318-94.
5. Порошки металлические. Методы сидиментационного анализа: ГОСТ 22662-77.
6. Порошки металлические. Микроскопический метод определения размера частиц: ГОСТ 23402-78.
7. Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и не-стационарной фильтрации: ГОСТ 26450.2-85.
8. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением: ГОСТ 26450.1-85.
9. Зиновенко, Г. В. Балтийская серия нижнего кембрия Прибугского поднятия и основные закономерности ее строения / Г. В. Зиновенко, Т. В. Воскобойникова // Литасфера. – 2007. – № 2 (27). – С. 115–120.

References

1. *Tektonika zapada Vostochno-Evropetskoi platform* [Tectonics of the western part of East European platform], in Gartsii R.G. (ed.), Nauka i tekhnika, Minsk, BY, 1990.
2. Zinovenko G.V., *Baltiisko-Pridnestrovskaya zona perikratonnykh opuskanii* [Baltic-Dnestr zone of perikratonic sinkings], Nauka i tekhnika, Minsk, BY, 1986.
3. Abramenko V.I., Zinovenko G.V. and Piskun L.V., "Correlation of Cambrian sediments of the southern part of Podlasie-Brest depression", *Doklady AN BSSR* [Proceedings of the BSSR Academy of Sciences], 1989, vol. 33, no. 6, pp. 557–560.
4. Mezghosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, *GOST 18318-94: Poroshki metallicheskie. Opredelenie razmerov chastits sukhim proseivaniem* [GOST 18318-94: Powders, metallic. Determination of particle size by dry sifting], IPK Izdatel'stvo standartov, Minsk, BY, 1996.
5. Mezghosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, *GOST 22662-77: Poroshki metallicheskie. Metody sedimentatsionnogo analiza* [GOST 22662-77: Metal powders. Methods of sedimentation analysis of powders], IPK Izdatel'stvo standartov, Moscow, RU, 2001.
6. Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, *GOST 23402-78: Poroshki metallicheskie. Mikroskopicheskii metod opredeleniya razmera chastits* [GOST 23402-78: Metal Powders. Microscopic method of particle size determination], Izdatel'stvo standartov, Moscow, RU, 1986.
7. Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, *GOST 26450.2-85: Porody gornye. Metod opredeleniya koeffitsienta absolyutnoi gazopronitsaemosti pri statsionarnoi i nestatsionarnoi fil'tratsii* [GOST 26450.2-85: Rocks. Method for determination of absolute gas permeability coefficient by stationary and non-stationary filtration], Izdatel'stvo standartov, Moscow, RU, 1985.
8. Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, *GOST 26450.1-85: Porody gornye. Metod opredeleniya koeffitsienta otkrytoi poristosti zhidkostenasyshcheniem* [GOST 26450.1-85: Rocks. Method for determination of open porosity coefficient by fluid saturation], Izdatel'stvo standartov, Moscow, RU, 1985.
9. Zinovenko G.V. and Voskoboinikova T.V., "Baltic series of lower Cambrian Bug rising and main regularities of its structure", *Litasfera* [Lithosphere], 2007, no. 2(27), pp. 115–120.

Информация об авторе

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

Information about authors

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

Для цитирования

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. наук Беларуси. Сер. хім. навук. – 2017. – № 1. – С. 89–98.

For citation

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. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series, 2017, no. 1, pp. 89–98.