



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ЕМКОСТИ КАТИОННОГО ОБМЕНА НА ПАРАМЕТР НАСЫЩЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ НА ПРИМЕРЕ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

И.В. МОТОРИН*, Е.О. БЕЛЯКОВ, Д.В. ВЕЛЕСОВ

Группа компаний «Газпром нефть»

77—79, Набережная реки Мойки, г. Санкт-Петербург 190000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Достоверность оценки начальных геологических запасов во многом зависит от точности определения одного из ключевых параметров — водонасыщенности. Одним из важных параметров, входящих в состав большинства общепринятых комплексных моделей определения водонасыщенности, является показатель насыщенности (n). Погрешность в оценке показателя насыщенности на величину 0,5 может дать изменение в оценке водонасыщенности в 30%. Считается, что на параметр насыщения (P_n), помимо значения коэффициента текущей водонасыщенности (K_v), могут влиять такие факторы, как смачиваемость, минерализация пластовой воды и ее ионный состав, а также количество и минеральный состав глин.

Цель. Оценка влияния емкости катионного обмена и минерализации на параметр насыщения глинистых пород мелового возраста одного из месторождений Западной Сибири.

Материалы и методы. В качестве исходных используются результаты исследования 23 образцов керна, поочередно насыщенных моделями пластовой воды различной минерализации и состава, которые отобраны из меловых отложений одного из месторождений Западной Сибири, расположенного в Среднеобской нефтегазовой области. Исследования проводились в режимах полного и частичного водонасыщения.

Результаты. Влияние емкости катионного обмена, а также минерализации и состава модели пластовой воды на показатель насыщенности отсутствует. Определено отсутствие изменения влияния «связанной» воды на проводимость породы в зависимости от изменения текущей водонасыщенности.

Заключение. Понимание влияния минерализации и состава пластовой воды, а также емкости катионного обмена на параметр насыщения позволяет оценить риски искажения результатов определения показателя n при проведении стандартных лабораторных исследований с применением хлориднатриевой модели пластовой воды одной минерализации.

Ключевые слова: модели водонасыщенности, показатель насыщенности, минерализация пластовой воды, емкость катионного обмена

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Моторин И.В., Беляков Е.О., Велесов Д.В. Оценка влияния минерализации и емкости катионного обмена на параметр насыщения глинистых песчаников на примере меловых отложений одного из месторождений Западной Сибири. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(4):30—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-30-38> EDN: [GNIDTO](https://www.edn.ru/)

Статья поступила в редакцию 17.06.2025

Принята к публикации 04.08.2025

Опубликована 22.12.2025

* Автор, ответственный за переписку

IMPACT ASSESSMENT OF MINERALIZATION AND CATION EXCHANGE CAPACITY ON THE RESISTIVITY INDEX OF CLAYEY SANDSTONES ON THE EXAMPLE OF CRETACEOUS DEPOSITS IN WESTERN SIBERIA

IVAN V. MOTORIN*, EVGENIY O. BELYAKOV, DANIIL V. VELESOV

*Gazprom Neft Group of Companies
75—79, Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia*

ABSTRACT

Background. The validity of initial deposit assessment largely depends on the accuracy of water saturation determination. The saturation exponent (n) is an important parameter included in the majority of generally accepted integrated models for determining water saturation. The error of saturation determination at the level of 0.5 may distort the final estimate of water saturation by 30%. It is believed that the Resistivity Index (RI) is affected not only by the coefficient of current water saturation (S_w) but also by such factors as wettability, reservoir water mineralization and its ionic composition, as well as the amount and mineral composition of clays.

Aim. To assess the effect of cation exchange capacity and mineralization on the saturation exponent of Cretaceous clayey rocks from a Western Siberian field.

Materials and methods. The research objects were 23 core samples alternately saturated with model formation water of different mineralization and composition. The samples were collected from Cretaceous deposits in a Western Siberian field located in the Middle Ob oil-gas area. The experiments were conducted in the modes of full and partial water saturation.

Results. The influence of cation exchange capacity, as well as the mineralization and composition of the model formation water, on the saturation exponent is absent. No change was found in the effect of 'bound' water on the rock conductivity depending on changes in the current water saturation.

Conclusion. Knowledge of the influence of the mineralization and composition of reservoir water, as well as cation exchange capacity, on the Resistivity Index is important for assessing the risks of inaccurate determination of saturation exponent (n) during standard laboratory studies using sodium chloride models of reservoir water of a single mineralization.

Keywords: water saturation models, saturation exponent, formation water mineralization, cation exchange capacity

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for the study.

For citation: Motorin I.V., Belyakov E.O., Velesov D.V. Impact assessment of mineralization and cation exchange capacity on the resistivity index of clayey sandstones on the example of cretaceous deposits in Western Siberia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(4):30—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-30-38> EDN: GNIDTO

Manuscript received 17 June 2025

Accepted 04 August 2025

Published 22 December 2025

* Corresponding author

Качество оценки начальных геологических запасов во многом зависит от точности определения одного из ключевых параметров — коэффициента водонасыщенности (K_v). В настоящее время существует множество моделей оценки водонасыщенности по данным удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород. основоположниками темы исследования электрических свойств в зависимости от водонасыщенности считаются советский ученый В.Н. Дахнов и американский петрофизик Г. Арчи, которые связали сопротивление породы с коэффициентами водонасыщенности и пористости через уравнения, известные как модель Дахнова — Арчи.

Наличие глинистых минералов, как правило, снижает сопротивление горных пород (при относительно низких минерализациях пластовых вод). Снижение сопротивления связывают с дополнительной проводимостью, обусловленной наличием двойного электрического слоя (ДЭС). Образование ДЭС преимущественно связывают с избытком отрицательных электрических зарядов, чаще всего образующихся путем замены одних элементов на другие (например, замена Al^{3+} на Mg^{2+}) в октаэдрической решетке глинистых минералов. В результате на границе твердой и жидкой фаз происходит взаимодействие отрицательно заряженных центров на поверхности твердой фазы и гидратированных катионов, образуя слой Штерна, мощность которого зависит от размеров гидратированных катионов, и слой Гуи, мощность которого зависит от их концентрации [9].

Для случая глинистых пород ряд российских и западных ученых [1, 3, 10] разработали модифицированные версии модели Дахнова — Арчи, учитывающие дополнительную проводимость. Основные подходы учета дополнительной проводимости включают в себя: использование коэффициента цементации m как переменной величины; учет расхождения параметра пористости в глинистых и чистых песчаниках; представление общей проводимости воды как соединение двух проводников: «раствора», который содержится в порах горных пород, и «связанной» воды, обеспечивающей обмен катионов, связанных с глиной. В западной практике в основном используется два последних из перечисленных способов.

Одним из важных параметров, входящих в состав большинства общепринятых комплексных моделей определения водонасыщенности, является показатель насыщенности n , который находится как угловой коэффициент прямой на графике

параметра насыщения и коэффициента водонасыщенности в логарифмическом масштабе.

Материалы и методы

В качестве исходных данных используются результаты исследования 23 образцов керна, отобранных из меловых отложений одного из месторождений Западной Сибири, расположенного в Среднеобской нефтегазовой области. Образцы представлены мелко-тонкозернистыми алевритовыми песчаниками. Диапазон пористости исследуемых образцов составляет 16—21%. Минеральный состав преимущественно кварцево-полевошпатовый. Содержание кварца варьируется в диапазоне 43—88%, полевых шпатов — 7—38%. Содержание глинистых минералов — 5—34%. В состав глины, по данным рентгеноструктурного анализа, входят: каолинит (33—68%), хлорит (23—43%), гидрослюда (4—17%) и смешанно-слоистые образования гидрослюдисто-монтмориллонитового ряда (4—10%).

Образцы, предварительно экстрагированные и высушенные, поочередно насыщались натриево-хлоровой моделью пластовой воды с минерализациями 5, 10, 15, 20, 50, 100, 300 г/л, а также моделью воды, по составу приближенной к реальному составу пластовой воды («сложная вода») с минерализациями 15 и 20 г/л.

Исследования при каждом варианте модели пластовой воды включали в себя:

- 1) измерение открытой пористости, объемной и минералогической плотностей методом жидкостенасыщения;
- 2) определение УЭС полностью водонасыщенных образцов в атмосферных условиях;
- 3) определение текущей водонасыщенности методом ультрацентрифугирования при давлении 0,02, 0,1, 2 МПа;
- 4) Определение УЭС частично насыщенных образцов в атмосферных условиях.

Для каждого образца определена емкость катионного обмена (мэкв/100 г) методом «мокрой химии».

Анализ влияния смачиваемости на показатель насыщенности n , проведенный В.Г. Андерсеном [8], указывает на то, что в гидрофильных коллекторах, где на поверхности зерен находится достаточно большое количество воды, обеспечивающей непрерывный путь для перемещений тока, показатель n остается относительно постоянным во всем диапазоне изменения водонасыщенности. В гидрофобных коллекторах, в области низких значений текущей водонасыщенности,

где происходит частичный разрыв пленки воды на поверхности зерен породы, происходит возрастание показателя n .

Исследования проводимостей полностью водонасыщенных образцов керна при разных минерализациях [11] показывают, что в зоне высоких минерализаций отношение проводимостей воды и глинистой породы имеет линейный вид, тогда как в зоне низких минерализаций отношение проводимостей породы и воды отклоняется от линейного вида. Данное отклонение объясняется увеличением подвижности катионов в зоне низкоминерализованных растворов, тогда как выше некоторого значения минерализации подвижность катионов остается постоянной.

М. Ваксман и Л.Дж. Смитс в своей работе [10] предполагали, что в случае глинистых пород на параметр насыщения влияет геометрический фактор, который зависит от пористости, водонасыщенности и емкости катионного обмена. Для учета геометрического фактора, по аналогии с показателем цементации m , М. Ваксманом и Л.Дж. Смитсом вводится показатель насыщенности глинистого песчаника n^* , необходимый, по мнению авторов, для учета влияния глинистости на УЭС частично водонасыщенных пород.

Авторы подчеркивают, что изменение минерализации и даже незначительное изменение емкости катионного обмена значительно влияют на параметр насыщения для глинистых пород.

Развитием концепции дополнительной проводимости глинистых пород, предложенной М. Ваксманом и Л.Дж. Смитсом, является модель, предложенная С. Клавье [9] и др. В данной работе С. Клавье описывает принцип формирования ДЭС, однако за отсутствием экспериментальных данных оставляет неизменными принципы влияния глинистости на показатель насыщенности.

Стоит отметить, что в работах [9, 10] высказывается предположение о том, что с уменьшением текущей водонасыщенности, влияние «связанной» воды на общую проводимость породы увеличивается.

И если тезисы о влиянии гидрофобизации пород на параметр насыщения и стабилизации подвижности катионов в высокоминерализованных растворах являются обоснованными и подтвержденными экспериментальными данными, то оценка влияния минерализации и емкости катионного обмена на показатель насыщенности проведена расчетным способом исходя из предложенных тематических моделей, но без экспериментального

подтверждения. Увеличение влияния «связанной» воды при уменьшении текущей водонасыщенности также требует экспериментального подтверждения.

Результаты

Для оценки влияния минерализации на параметр насыщения был построен график сопоставления $Rn = f(Kв)$ для каждой ступени минерализации (рис. 1).

Из графика, представленного на рисунке 1, видно, что все точки керна лежат в едином тренде, значения показателя насыщенности остаются стабильными. Данный факт можно объяснить тем, что в процессе замещения воды не проводящей электричество фазой (УВ или газом) в первую очередь происходит вытеснение воды, свободно находящейся в порах. При этом молекулы воды и положительно заряженные противоионы, относящиеся к ДЭС и крепко связанные с твердой фазой за счет молекулярной адсорбции, вызванной вандерваальсовыми силами [6], не подвергаются воздействию и остаются на месте. Таким образом, мощность ДЭС не меняется и проводимость породы уменьшается пропорционально уменьшению свободной воды.

В таблице приведены медианные значения показателя насыщенности при разной минерализации.

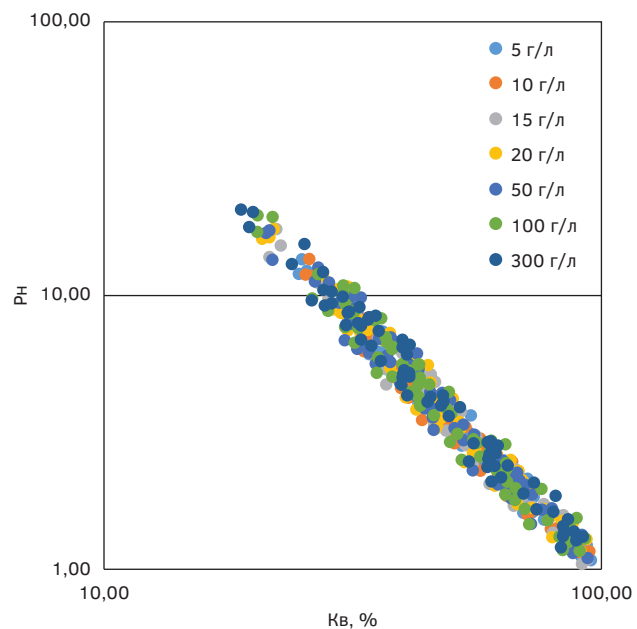


Рис. 1. Зависимость $Rn = f(Kв)$ при различной минерализации

Fig. 1. Dependence of $RI = f(Sw)$ at different mineralization

Таблица. Медианные значения показателя насыщения для разной минерализации

Table. Median values of the saturation exponent for different mineralization

Минерализация, г/л	n
5	1,83
10	1,78
15	1,85
20	1,83
50	1,85
300	1,85

Медианные значения для большинства минерализаций имеют значения 1,83—1,85, без какой-либо закономерности. Исключение составляет значение 1,78 для минерализации 10 г/л, но данное отклонение можно связать с погрешностью измерений.

Согласно современным представлениям, ДЭС состоит из двух частей: слоя Штерна, толщина которого зависит от радиуса противоионов, и диффузионного слоя Гуи, размер которого зависит главным образом от концентрации противоионов [7]. Отмечается, что в растворах с низкой минерализацией толщина слоя Гуи может достигать десятков нанометров, что значительно больше размера мо-

лекул воды и противоионов в растворе. Таким образом, можно предположить, что увеличение толщины ДЭС может быть связано с минерализацией пластовой воды и определяется размерами диффузионного слоя. В свою очередь, размер слоя Штерна зависит только от ионного состава пластовой воды.

К основным компонентам химического состава пластовой воды, имеющим положительный заряд, помимо Na^{2+} , можно отнести Ca^{2+} , Mg^{+} , NH_4^{+} , реже встречаются K^{+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , V^{3+} , Li^{2+} . Ионный радиус иона Na^{2+} , который входит в состав большинства лабораторных моделей пластовой воды (чаще всего для моделирования используется NaCl), составляет $0,98 \times 10^{-10}$ м, тогда как ионный радиус Ca^{2+} равен $1,04 \times 10^{-10}$ м, Mg^{+} — $0,74 \times 10^{-10}$ м, NH_4^{+} — $1,59 \times 10^{-10}$ м, а, например, V^{3+} — $0,21 \times 10^{-10}$ м [2]. Таким образом, толщина слоя Штерна может меняться более чем в два раза в зависимости от химического состава пластовой воды.

Для оценки влияния состава воды построены аналогичные графики сопоставления $R_n = f(K_v)$ для «простой» и «сложной» моделей воды с минерализациями 15 и 20 г/л. Сопоставления приведены на рисунке 2.

Медианное значение показателя насыщения для «сложной» воды с минерализацией 15 г/л составляет 1,83 (для воды NaCl показатель равен

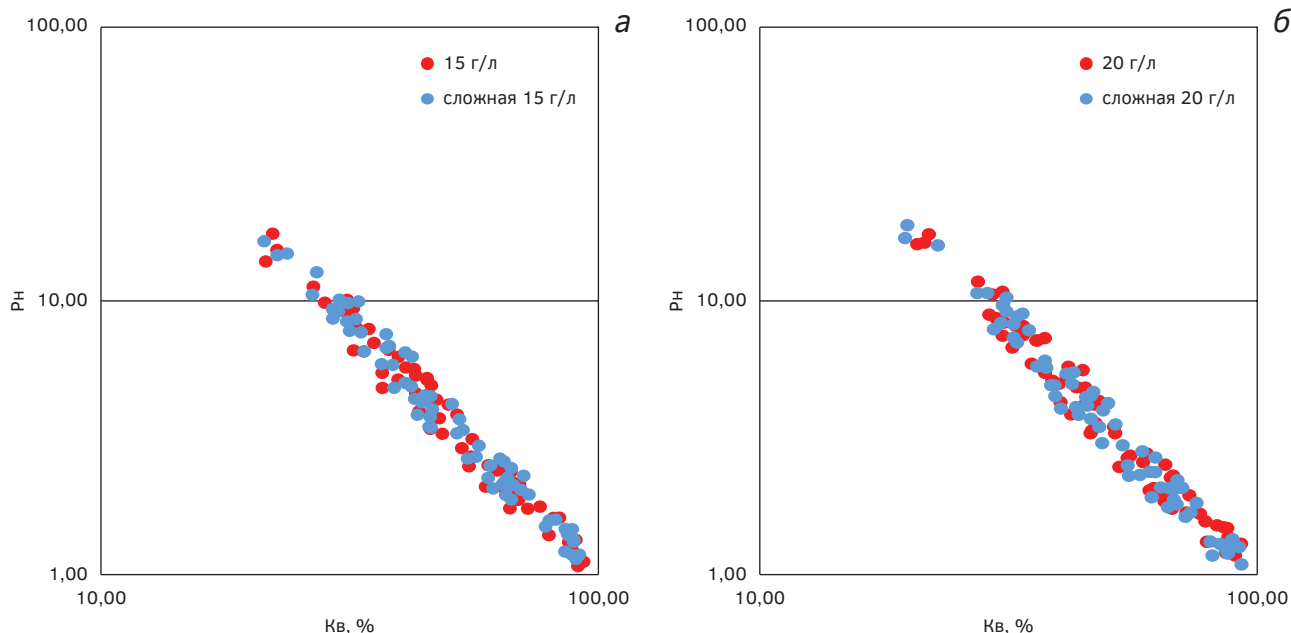


Рис. 2. Зависимость $R_n = f(K_v)$ для разного состава воды: а — модель NaCl воды; б — модель воды, приближенной по составу к пластовой

Fig. 2. The dependence of $R_n = f(S_w)$ for different water compositions: а — the NaCl model of water; б — the model of water approximating the composition of the reservoir

1,85), для минерализации 20 г/л — 1,8 (для воды NaCl показатель равен 1,83). Величина показателей насыщенности для моделей воды разного состава, но одинаковой минерализации существенно не отличаются. Близость значений величины показателя насыщенности может говорить о том, что изменения в слое Штерна не несут значимого влияния на проводимость воды, состоящей как из ДЭС, так и части свободного раствора, которая остается в порах при ее частичном вытеснении.

Таким образом, для исследуемой коллекции образцов можно сделать вывод о том, что ни минерализация, ни состав пластовой воды не оказывают существенного влияния на показатель насыщенности.

Предположение об увеличении влияния доли «связанной» воды на общую проводимость фигурирует в различных, в основном западных, комплексных моделях электропроводности [9, 10]. В работе [4], основываясь на анализе текущей водонасыщенности при различных минерализациях, при давлении вытеснения 1 МПа, сделан вывод о том, что с уменьшением текущей водонасыщенности влияние «связанной» воды остается постоянным. Однако исследования лишь на одной ступени вытеснения оставляют неопределенность в данном вопросе.

Для уточнения влияния «связанной» воды в зависимости от текущей водонасыщенности на показатель насыщенности для данной коллекции образцов было проведено вытеснение воды на трех ступенях: 0,02, 0,1 и 2 МПа для каждого значения минерализации. С увеличением давления вытеснения количество воды в образцах уменьшается, и если влияние «связанной» воды действительно увеличивается с уменьшением текущей водонасыщенности, то логично предположить, что зависимость $R_n = f(K_v)$ для каждой ступени вытеснения будет иметь свой тренд, если же влияние остается постоянным — тренд будет оставаться единым. Зависимость $R_n = f(K_v)$ при различных минерализациях для разных давлений вытеснения показана на рисунке 3.

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, что зависимости $R_n = f(K_v)$ для каждой ступени вытеснения лежат в едином тренде. Таким образом, текущие данные подтверждают отсутствие увеличения влияния «связанной» воды на общую проводимость породы.

Следующим этапом проведена оценка влияния емкости катионного обмена (ЕКО) на показания параметра насыщенности.

Принято считать, что толщина двойного электрического слоя (ДЭС) связана с емкостью катионного обмена через концентрацию ионов и структуру ионного распределения у поверхности [5]. При этом величина ЕКО не влияет на слой Штерна, так как его свойства определяются физическим размером ионов и их адсорбцией на поверхности. Таким образом, влияние ЕКО на толщину ДЭС происходит главным образом в слое Гуи. Увеличение ЕКО приводит к возможности удержания большего количества положительных ионов на границе двух фаз, что приводит к уменьшению толщины слоя Гуи (и толщины ДЭС в целом). Оценка влияния емкости катионного обмена на показатель насыщенности в основном основывается на расчетных данных и требует экспериментальных подтверждений.

Для оценки влияния ЕКО на параметр насыщения из общей коллекции были выбраны 5 образцов со схожими фильтрационно-емкостными свойствами, имеющие различные значения емкости катионного обмена. Диапазон пористости выбранных образцов составляет 18,7—19,5%, диапазон абсолютной проницаемости — $(8,3—13,4) \times 10^{-15} \text{ м}^2$, диапазон изменения приведенной емкости катионного обмена — 0,06—0,11 моль/л.

График зависимости $R_n = f(K_v)$ для образцов с различной приведенной емкостью катионного обмена приведен на рисунке 4.

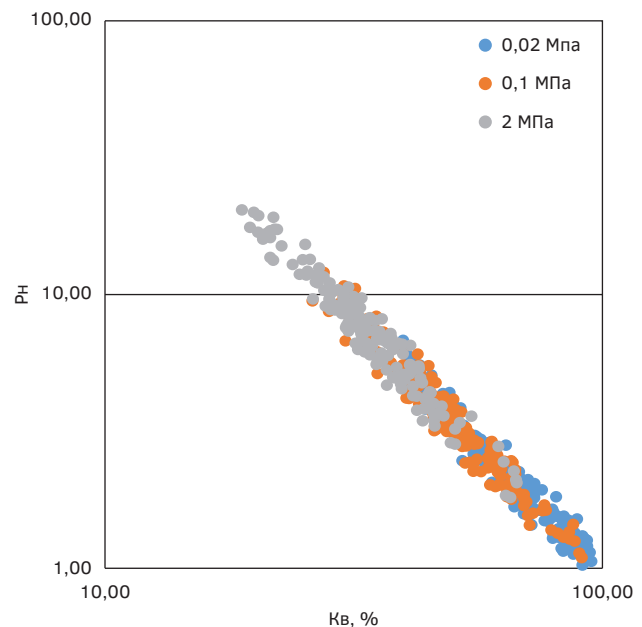


Рис. 3. Зависимость $R_n = f(K_v)$ при различных минерализациях для разных давлений вытеснения
Fig. 3. Dependence of $R_n = f(K_v)$ at different mineralizations for different displacement pressures

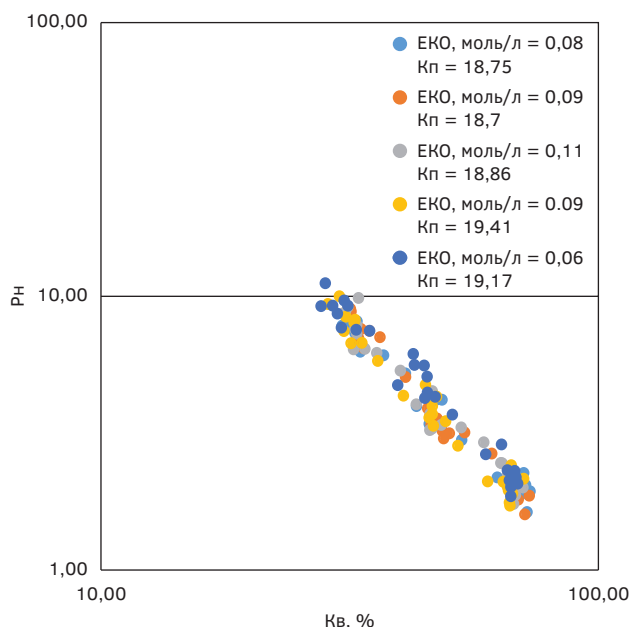


Рис. 4. График зависимости $Rh = f(Kv)$ для образцов с различной приведенной емкостью катионного обмена

Fig. 4. Graph of the dependence $RI = f(Sw)$ for samples with different cation exchange capacity

Из графика видно, что точки керна для образцов с близкими фильтрационно-ёмкостными свойствами (ФЕС), но с отличающейся приведенной емкостью катионного обмена лежат в едином тренде. Для выбранных образцов с приведенной ЕКО 0,06, 0,08, 0,09, 0,09 и 0,11 моль/л значения параметра насыщения составляют 1,91, 1,72, 1,82, 1,71, 1,84 соответственно. Связь между ЕКО и параметром насыщенности n отсутствует, видимо, по тем же причинам, что и связь с минерализацией. Различная способность притягивать положительные ионы связана в основном со «связанной» водой, тогда как все изменения текущей водонасыщенности вследствие вытеснения углеводородами связаны главным образом со «свободной» водой.

График сопоставления величины приведенной емкости катионного обмена (ЕКО) со значением показателя насыщенности (n) для каждого образца из коллекции приведен на рисунке 5.

И хотя из результатов следует, что предположение о влиянии изменения ЕКО на параметр насыщенности не подтверждается, следует учитывать небольшой диапазон значений емкости катионного обмена для данной коллекции. Для более достоверного подтверждения отсутствия влияния необходимо провести дополнительный анализ коллекции образцов с более широким диапазоном

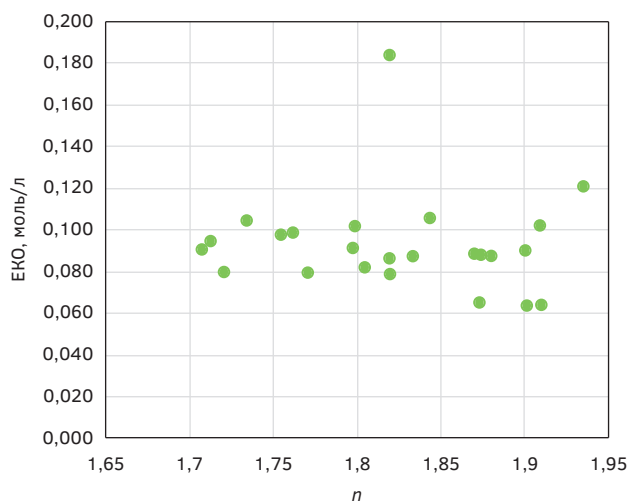


Рис. 5. График сопоставления приведенной емкости катионного обмена (ЕКО) с показателем насыщенности (n)

Fig. 5. Graph showing the correlation between the reduced cation exchange capacity and the saturation exponent

изменения ЕКО. Также следует отметить, что эксперименты проводились на экстрагированных образцах, что дает неопределенность, связанную с возможным изменением естественной смачиваемости образцов.

Выводы

В результате анализа влияния минерализации и емкости катионного обмена глинистых минералов, содержащихся в песчаниках, можно сделать следующие выводы:

- 1) параметр насыщенности Rh и показатель n практически не зависят от минерализации, а также от состава пластовой воды;
- 2) емкость катионного обмена, которой обладают глинистые минералы, входящие в состав песчаников, существенно не влияет на величину показателя насыщенности. Данное наблюдение можно связать с тем, что влияние ЕКО главным образом распространяется на «связанную» воду, тогда как процесс вытеснения воды до текущего уровня связан с уменьшением доли «свободной воды»;
- 3) значимое влияние «связанной» воды на общую проводимость пород с уменьшением текущей водонасыщенности не подтверждается экспериментальными данными;
- 4) с целью повышения достоверности полученных результатов необходимо дополнить статистику исследования образцами с более широким диапазоном ЕКО, а также образцами с естественной или восстановленной смачиваемостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вендельштейн Б.Ю. О связи между параметром пористости, коэффициентом поверхностной проводимости, диффузионно-адсорбционной активностью и адсорбционными свойствами терригенных пород. М.: Гостоптехиздат, 1960. Вып. 31.
2. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. 2—3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1977.
3. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефте-газонасыщения горных пород. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 311 с.
4. Моторин И.В., Беляков Е.О. Петрофизическое моделирование текущей водонасыщенности на основе экспериментов измерений электрической проводимости в разных режимах насыщенности водой при разной минерализации. Нефтяное хозяйство. 2025. № 4. С. 54—59. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-4-54-58
5. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. Тула: Гриф и К., 2009. 172 с.
6. Филиппов А.В., Старов В.М. Электростатическое и ван-дер-ваальсовское взаимодействие наночастиц в электролитах. Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 117, № 8. С. 604—611. DOI: 10.1134/S0021364023080056
7. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебник для вузов. М.: Химия, 1982. 400 с.
8. Anderson W.G. Wettability literature survey. Part 3: the effects of wettability on the electrical properties of porous media. SPE Journal of Petroleum Technology. 1986. Vol. 38, no. 12. P. 1371—1378. DOI: 10.2118/13771-PA
9. Clavier C., Coates G., Dumanoir J. Theoretical and experimental bases for the Dual-Water model for interpretation of Shaly Sands. SPE Journal. 1984. Vol. 24, no. 2. P. 153—168. DOI: 10.2118/6859-PA
10. Waxman M.H., Smits L.J.M. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. Society of Petroleum Engineers Journal. 1968. Vol. 8, no. 2. P. 107—122.
11. Worthington P.E. The evolution of shaly-sand concepts in reservoir evaluation. Log Analyst. 1985. Vol. 26, no. 1. P. 23—40.

REFERENCES

1. Vendelshtein B.Yu. On the relationship between porosity parameter, surface conductivity coefficient, diffusion-adsorptive activity, and adsorptive properties of terrigenous rocks. Moscow: Gostoptekhizdat, 1960. Issue 31. (In Russ.)
2. Voitkevich G.V., Miroshnikov A.E., Povarennykh A.S., Prokhorov V.G. Concise Handbook of Geochemistry. 2nd–3rd ed., revised and expanded. Moscow: Nedra, 1977 (In Russ.).
3. Dakhnov V.N. Geophysical Methods for Determining Reservoir Properties and Oil-Gas Saturation of Rocks. 2nd ed., revised and expanded. Moscow: Nedra, 1985. 311 p. (In Russ.).
4. Motorin I.V., Belyakov E.O., Petrophysical modeling of water saturation based on experiments of measuring electrical conductivity in different water saturation regimes with different mineralization (In Russ.), Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry, 2025, No. 4, pp. 54—58 (In Russ.). DOI: 10.24887/0028-2448-2025-4-54-58
5. Sokolova T.A., Trofimov S.Ya. Adsorptive Properties of Soils. Adsorption. Cation Exchange: Textbook on Selected Chapters of Soil Chemistry. Tula: Grif and Co., 2009. 172 p. (In Russ.).
6. Filippov A.V., Starov V.M. Electrostatic and van der Waals Interactions of Nanoparticles in Electrolytes. JETP Letters. 2023, Vol. 117, No. 8, pp. 604—611 (In Russ.). DOI: 10.1134/S0021364023080056
7. Frolov Yu.G. Course of Colloid Chemistry (Surface Phenomena and Disperse Systems): Textbook for Universities. Moscow: Khimiya, 1982. 400 p. (In Russ.).
8. Anderson W.G. Wettability literature survey. Part 3: the effects of wettability on the electrical properties of porous media. SPE Journal of Petroleum Technology. 1986. Vol. 38, no. 12. P. 1371—1378 (In Russ.). DOI: 10.2118/13771-PA
9. Clavier C., Coates G., Dumanoir J. Theoretical and experimental bases for the Dual-Water model for interpretation of Shaly Sands. SPE Journal. 1984. Vol. 24, no. 2. P. 153—168. DOI: 10.2118/6859-PA
10. Waxman M.H., Smits L.J.M. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. Society of Petroleum Engineers Journal. 1968. Vol. 8, no. 2. P. 107—122.
11. Worthington P.E. The evolution of shaly-sand concepts in reservoir evaluation. Log Analyst. 1985. Vol. 26, no. 1. P. 23—40.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Моторин И.В. — провел сбор, обработку и анализ исследований ядра, подготовил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Ivan V. Motorin — conducted the collection, processing, and analysis of core study data, prepared the published version of the article, and agrees to take responsibility for all aspects of the article.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

Беляков Е.О. — разработал концепцию статьи, выполнил первичный анализ кернового материала, согласовал публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Велесов Д.В. — проводил аналитические исследования, обсуждение текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Evgeniy O. Belyakov — developed the concept of the article, performed the primary analysis of the core material, agreed on the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the article.

Daniil V. Velesov — carried out analytical research, participated in the discussion of the article text, and agrees to take responsibility for all aspects of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Моторин Иван Владимирович* — руководитель направления по петрофизике группы компаний «Газпром нефть».

77—79, Набережная реки Мойки, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

e-mail: ivan.motorin@bk.ru

тел.: +7 (985) 305-81-61

SPIN-код: 1555-2287

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0294-666X>

Ivan V. Motorin* — Senior specialist, Gazprom нефт company group.

75—79, Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia

e-mail: ivan.motorin@bk.ru

tel.: +7 (985) 305-81-61

SPIN-code: 1555-2287

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0294-666X>

Беляков Евгений Олегович — кандидат геолого-минералогических наук, руководитель проекта развития дисциплины «Петрофизика» группы компаний «Газпром нефть».

77—79, Набережная реки Мойки, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

e-mail: beljene@yandex.ru

SPIN-код: 3876-9400

РИНЦ Author ID: 273304

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4094-4308>

Evgeniy O. Belyakov — Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Leader of the Petrophysical discipline development, Gazprom нефт company group.

75—79, Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia

e-mail: beljene@yandex.ru

SPIN-code: 3876-9400

RINC Author ID: 273304

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4094-4308>

Велесов Даниил Владимирович — главный специалист по петрофизике группы компаний «Газпром нефть».

77—79, Набережная реки Мойки, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

e-mail: d-velesov@mail.ru

SPIN-код: 6025-4957

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9148-3350>

Daniil V. Velesov — Chief specialist, Gazprom нефт company group.

75—79, Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia

e-mail: d-velesov@mail.ru

SPIN-code: 6025-4957

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9148-3350>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author