

К вопросу о корреляции между минеральным составом глин и их способностью к катионному обмену

Акелян Н.С., Пискунова А.А., Саркисян К.А.

Филиал ООО «РН-ГИР» в г. Уфе – БашНИПнефть (Обособленное подразделение в г. Краснодар), Краснодар, Россия
akelyanns@rn-gir.rosneft.ru

Аннотация

Исследована корреляция минерального состава глин с емкостью катионного обмена (ЕКО). Показано, что ЕКО определяется не общей глинистостью, а долей смешаннослойных минералов (ССМ) и их типом, а также значительное влияние оказывает характер распределения глин в породе. Высокая ЕКО при умеренной глинистости связана с неравномерным распределением обменных центров; низкая ЕКО при высокой глинистости — с преобладанием минералов с малой обменной способностью, либо уплотнением породы. Полученные данные и корреляции предложено применять для выделения зон с повышенным риском неблагоприятных последствий при проведении геолого-технологических мероприятий на объектах нефтедобычи, такими как набухание глин, диспергирование частиц, как следствие коагуляция пор и снижение приемистости при закачке, а также несовместимость с буровыми растворами и изменение смачиваемости.

Материалы и методы

С целью определения емкости катионного обмена применялся метод десорбции обменных катионов, минералогического состава — метод рентгеновской дифракции, изучение порового распределения глин проводилось на растровом электронном микроскопе.

Ключевые слова

емкость катионного обмена, глинистые минералы, смешаннослойные минералы, смектит, характер распределения глин, зоны риска

Для цитирования

Акелян Н.С., Пискунова А.А., Саркисян К.А. К вопросу о корреляции между минеральным составом глин и их способностью к катионному обмену // Экспозиция Нефть Газ. 2026. № 6. С. 52–57. DOI: 10.24412/2076-6785-2026-6-52-57

Поступила в редакцию: 23.09.2026

GEOCHEMISTRY

UDC 552.52:544.723 | Original Paper

Correlations between clay mineralogy and cation exchange capacity

Akelyan N.S., Piskunova A.A., Sarkisyan K.A.

Branch of "RN-GIR" LLC in the city of Ufa – BashNIPneft, (Separate Subdivision in Krasnodar), Krasnodar, Russia
akelyanns@rn-gir.rosneft.ru

Abstract

The correlation between the mineral composition of clays and their cation exchange capacity (CEC) was investigated. It was demonstrated that CEC is determined not by the total clay content, but by the proportion of mixed layer minerals and their type, and also significantly influenced by the distribution pattern of clays within the rock. High CEC at moderate clay content is associated with an uneven distribution of exchange sites; low CEC at high clay content results from the predominance of minerals with low exchange capacity or from rock compaction. The data and correlations obtained are proposed to be used to identify zones with an increased risk of adverse consequences when carrying out geological and technological measures at oil production facilities.

Materials and methods

For the purpose of determining the cation exchange capacity was applied the method of desorption of exchangeable cations. The mineralogical composition was assessed using X-ray diffraction, and the study of the pore distribution in clays was carried out using a scanning electron microscope.

Keywords

cation exchange capacity, clay minerals, mixed layer minerals, smectite, distribution pattern of clays, risk areas

For citation

Akelyan N.S., Piskunova A.A., Sarkisyan K.A. Correlations between clay mineralogy and cation exchange capacity. Exposition Oil Gas, 2026, issue 6, P. 52–57. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2026-6-52-57

Received: 23.09.2026

Введение

Одной из актуальных задач современной нефтегазодобывающей отрасли является изучение нетрадиционных коллекторов глинистого типа, в том числе и продуктивных нефтематеринских толщ, обладающих огромным потенциалом для разработки. Для повышения эффективности нефтеотдачи таких коллекторов требуется их детальное комплексное геологическое, петрофизическое и физико-химическое исследование,

в частности, подробное изучение глинистой составляющей породы, оказывающей ключевое влияние на фильтрационно-емкостные свойства породы [1].

Глинистые коллекторы — сложные природные системы, представленные породообразующими и акцессорными минералами, органическим веществом и поровыми флюидами. Коллекторский потенциал этих пород формируется в результате взаимодействия составляющих их компонентов друг с другом

в процессе литогенеза. Глинистые минералы участвуют в процессах формирования залежей нефти путем каталитического воздействия на органическое вещество. В литературе показано [2, 3], что основным механизмом взаимодействия органического вещества с минералами осадочных пород является сорбция органических радикалов поверхностью глинистых частиц, имеющей дефицит положительных зарядов. Поэтому, косвенным показателем способности глинистых минералов

к сорбции, а значит и преобразованию органического вещества, является показатель их обменной емкости, то есть общее количество катионов, способных к обмену на катионы взаимодействующего с ними раствора.

Величина емкости катионного обмена (ЕКО) зависит от ряда параметров: минерального состава породы и, в первую очередь, от содержания глинистых и органических веществ, а также от удельной поверхности породообразующих минералов и их кристаллохимических особенностей, величины pH, термобарических условий в пласте и др.

Глины являются сложными многокомпонентными высокодисперсными системами. Входящие в их состав глинистые минералы представляют собой слоистые и слоисто-цепочечные алюмосиликаты. В зависимости от характера элементарных структурных слоев, представленных алюмоокислородными октаэдрами и кремнекислородными тетраэдрами, глинистые минералы подразделяются на группы [4, 13].

Согласно литературным данным [4], среди глинистых минералов максимальными значениями ЕКО обладают минералы смектитовой группы, имеющие подвижную кристаллическую решетку, большое количество некомпенсированных зарядов и, соответственно, повышенную способность к набуханию и обмену катионов; минимальными — минералы каолиновой и хлоритовой группы, они не набухают при взаимодействии с водой, так как обладают жесткой кристаллической решеткой с небольшим межслоевым расстоянием, что препятствует проникновению гидратированных катионов в их межслоевое пространство и участию в ионном обмене. Минералы группы иллита обладают промежуточными значениями ЕКО между минералами смектитовой и каолиновой групп и практически не набухают в воде.

Кроме того, в отложениях повсеместно представлены смешаннослойные образования иллит-смектитового типа, причем соотношения между набухающими и ненабухающими фрагментами изменяются в них в широких пределах, в связи с чем ЕКО в этой группе крайне изменчива. Считается, что их образование связано с трансформацией неустойчивого при повышенных давлениях и температурах смектита по мере увеличения глубины залегания с конечным переходом в иллит. Иллитизация на больших глубинах характерна также и для каолинита [5–7].

При исследовании природных образцов, зачастую приходится сталкиваться с отсутствием или неявной выраженностью зависимости ЕКО от содержания глинистой фракции и ее минерального состава, что, напрямую указывает на наличие ряда других важных факторов, оказывающих еще большее влияние на протекающие процессы.

В статье приведен детальный анализ лабораторных данных кернового материала для выявления зависимости показателя ЕКО от различных факторов, таких как минеральный состав глин, закономерности их пространственного распределения по разрезу, литологические и петрофизические особенности отложений.

Материалы и методы исследования

Для исследования была отобрана коллекция из 180 образцов кернового материала, полученного из скважины Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в диапазоне глубин 1629–2687 м.

Месторождение расположено в пределах Губкинского нефтегазоносного района Среднеобской нефтегазоносной области и приурочено к терригенным отложениям мелового возраста, к покурской свите (сеноманский ярус).

Были вскрыты горизонты в разрезе нижнемеловых отложений, относящиеся к пластам ПК, АП и БП, в целом, представленные неравномерно переслаивающимися песчаниками, алевролитами и аргиллитами, сформированными в условиях прибрежно-морской и дельтовой обстановки. Данные пласты расположены ниже основного продуктивного разрабатываемого пласта ПК 1 и представляют собой перспективные объекты для доработки, относятся к коллекторам сложного строения и, таким образом, к трудноизвлекаемым запасам.

Пласты ПК 12–ПК 19 являются горизонтами средней и нижней части покурской свиты, состоят из множества прослоев светло-серых средне- и мелкозернистых песчаников и алевролитов с неравномерным распределением глинистых минералов. Толщина прослоев может меняться от нескольких сантиметров до 1–3 метров. Диапазон значений пористости по данным пластам составляет от 6,2 до 32,8 %, проницаемость варьируется от одной сотой миллидари в сильноглинистых алевролитах до нескольких сотен миллидари в песчаниках, и в среднем составляет 50–400 мД. (рис. 1)

Относящиеся к ачимовской толще пласты АП и подстилающие их пласты БП, также

неоднородны по своей литологии и характеризуются тонким переслаиванием мелкозернистых, часто плохо отсортированных, с примесью алевролитового материала песчаников и алевролитов и глин, которые формируют тонкие прослои, линзы и глинистые перемишки, обуславливая высокую микронеоднородность. Имеют выраженное клиноформное залегание. Диапазон значений пористости по данным пластам составляет от 7,6 до 15,0, проницаемость также снижается, имеет менее выраженный разброс по разрезу и составляет в среднем от 3 до 90 мД для более чистых песчаных разностей (рис. 1)

Существует ряд методов для определения ЕКО, в большинстве случаев они основаны на насыщении породы катионами металлов, вытеснении их каким-либо реагентом и последующим определении их концентрации с применением титрования, фотометрических методов или атомно-абсорбционной спектрометрии. К наиболее распространенным методам следует отнести ацетатно-аммонийный метод, метод насыщения хлоридом бария, метод вытеснения гексамин кобальтом трихлоридом, адсорбционное титрование метиленовым синим и др. [8, 9]. Нами был выбран наиболее оптимальный и технически простой метод «десорбции обменных катионов», заключающийся в насыщении породы буферным раствором хлорида бария с pH = 6,5 с последующей десорбцией ионов бария 0,05 моль/дм³ серной кислотой и связыванию их в виде нерастворимого осадка сульфата бария. Предварительно навеска

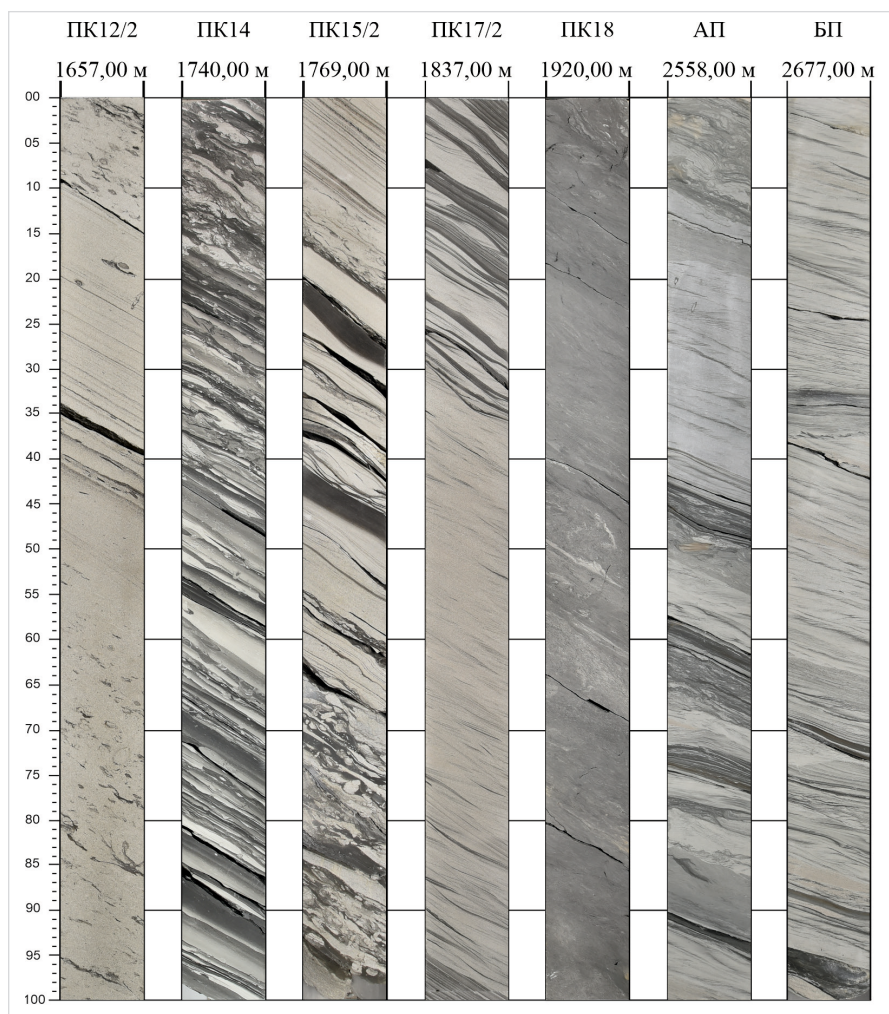


Рис. 1. Фотографии ядра из пластов ПК, АП и БП
Fig. 1. Core photos from the PK, AP, and BP layers

породы подвергается обработке 1 %-м раствором соляной кислоты для удаления карбонатов, гипса и легкорастворимых солей. Насыщение породы продолжается до тех пор, пока pH фильтрата не будет соответствовать pH буферного раствора. Аликвоту фильтрата титруют раствором 0,1 моль/дм³ гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина.

Все методы для определения ЕКО предполагают использование измельченной породы с диаметром частиц не более 0,5 мм, что увеличивает удельную поверхность образца и приводит к максимальному извлечению катионов обменного комплекса. Однако, они позволяют определить коэффициенты набухания глин только с нарушением естественной структуры этих пород и связи между их частицами. Для получения более информативного результата, приближенного к реальным показателям коллектора и учитывающего пространственное расположение глинистых минералов в терригенной матрице, были взяты навески пород с размером частиц 1–3 мм [8]. В результате были получены и проанализированы эффективные значения ЕКО, которые имеют значительные отличия по исследуемым пластам. Так, только пласты ПК 13, ПК 14, ПК 15/2 и ПК 17/2 обладают высокими значениями емкости катионного обмена в диапазоне 30–59 мг-экв/100 г, для всех остальных пластов ПК, а также пластов групп АП и БП значение показателя снижается в среднем до 5 мг-экв/100 г.

По всем образцам керна был проведен анализ минерального состава обломочной части и цемента методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на порошковых неориентированных препаратах с использованием рентгеновского дифрактометра Ultima IV фирмы Rigaku (съемка проводилась с применением рентгеновской трубки с Cu-анодом, с напряжением 40 кВ, током 30 мА, углы съемки 2 θ от 2° до 90°, скорость съемки 2 °/мин). Экстрагированную породу измельчают в вибрационном истирателе до размера фракции 0,05 мм. Измельченная проба засыпается в кювету, после чего поверхность выравнивается с помощью предметного стекла.

Кювета с образцом горной породы помещается в рентгеновский дифрактометр.

По минеральному составу породы полимиктовые, сложены преимущественно кварцем, калиевыми и натриевыми полевыми шпатами, с незначительным ожелезнением отдельных образцов. Образцы глинистые и сильноглинистые, распределение глин по разрезу неравномерное и составляет от 8 до 55 % (рис. 5).

Для диагностики глинистых минералов применяется съемка ориентированных препаратов определенной толщины, полученных путем осаждения глинистой суспензии на предметное стекло. Препарат высушивается при комнатной температуре в защищенном от сквозняков и пыли месте. Оптимальная толщина препарата, при которой достигается хорошая текстурированность глинистых частиц, составляет около 0,1 мм.

Дополнительно, для отделения смешаннослойных глин (например, монтмориллонит), приготовленный препарат насыщается парами этиленгликоля или глицерина при температуре 60 оС в течение 8–12 часов, что увеличивает размер межслоевого промежутка. При необходимости препарат прокалывают, чтобы удалить межслоевую воду и тем самым уменьшить размер межслоевого промежутка.

Детальное изучение пелитовой фракции показало, что основными глинистыми минералами в породе являются иллитовые и ССО, каолинит и хлорит. Содержание каолинита преобладает по всем пластам, в пластах ПК его содержание в среднем в два раза больше, чем содержание суммы иллитовых и ССО. Хлорит в верху разреза присутствует в незначительном количестве, но с глубиной его содержание увеличивается. По мере увеличения глубины залегания содержание каолинита снижается, наблюдается постепенная иллитизация глинистых минералов, причем доля смешаннослойных минералов уменьшается (рис. 2). Таким образом, наиболее характерными для больших глубин становятся минералы группы иллита и хлорита. Данная закономерность находит подтверждение в литературных источниках [5–7].

Обсуждение результатов

Анализ полученных данных показал, что распределение ЕКО по разрезу скважины имеет существенный разброс, тем не менее прослеживается некоторая общая закономерность (рис. 5). Так, пласты группы ПК обладают средними и высокими значениями емкости катионного обмена, причем из них пласт ПК 12/1 имеет самое низкое значение ЕКО 8,7 мг-экв/100 г. Вниз по стволу ЕКО постепенно увеличивается и достигает самых высоких значений в пластах ПК 13, ПК 14, ПК 15/2 и ПК 17/2 до 59,0 мг-экв/100 г, затем происходит снижение показателя. Для всех пластов групп АП и БП характерны низкие значения ЕКО 4,7–8,8 мг-экв/100 г породы, потенциал к обмену катионами у данных пластов практически идентичен.

Изучение смешаннослойных минералов представляет собой нетривиальную задачу [10], поэтому для диагностики и уточнения их состава пробы предварительно насыщаются глицерином, что приводит к разбуханию пакетов и сдвигу базальных отражений [11]. Согласно результатам проведенных исследований пелитовой фракции, ССО представлены преимущественно иллит-смектитовой и хлорит-смектитовой группами, их содержание по разрезу скважины составляет до 60 %.

Согласно литературным данным, между показателем ЕКО и содержанием глинистых минералов в породе существует зависимость [4], которая в исследуемой выборке оказалась невыраженной. Построен график, отражающий тенденцию изменения показателя ЕКО в зависимости от содержания набухающих глин в пластах. Для рассматриваемого объекта это смешаннослойные глины типа иллит-смектит, а также хлорит-смектит (рис. 3).

На графике видно, что потенциал к обмену катионами уменьшается вниз по разрезу и для пластов группы АП и БП значительно ниже (практически на 60 %), чем у пластов группы ПК, что объясняется изменением количества и состава смешаннослойных минералов с глубиной залегания, а именно уменьшением содержания набухающих слоев в составе ССО.

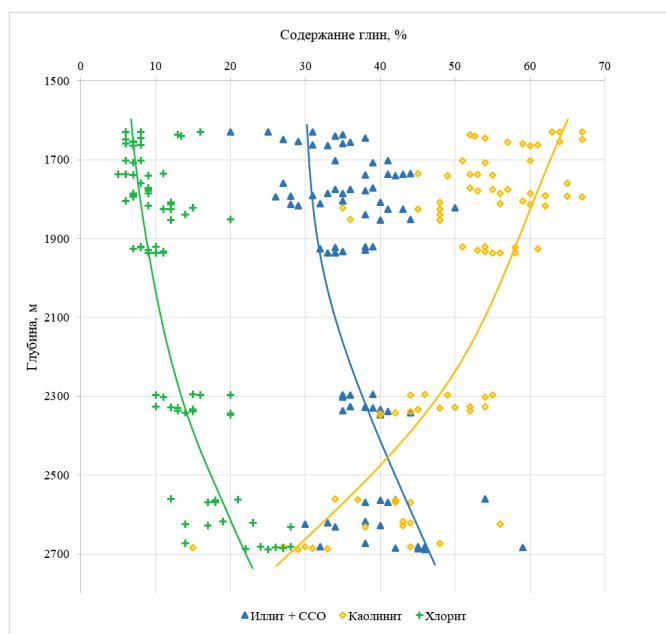


Рис. 2. Изменение с глубиной состава пелитовой фракции пластов ПК, АП и БП Западной Сибири
Fig. 2. Changes in the composition of the pelite fraction of the PK, AP, and BP formations in Western Siberia with increasing depth

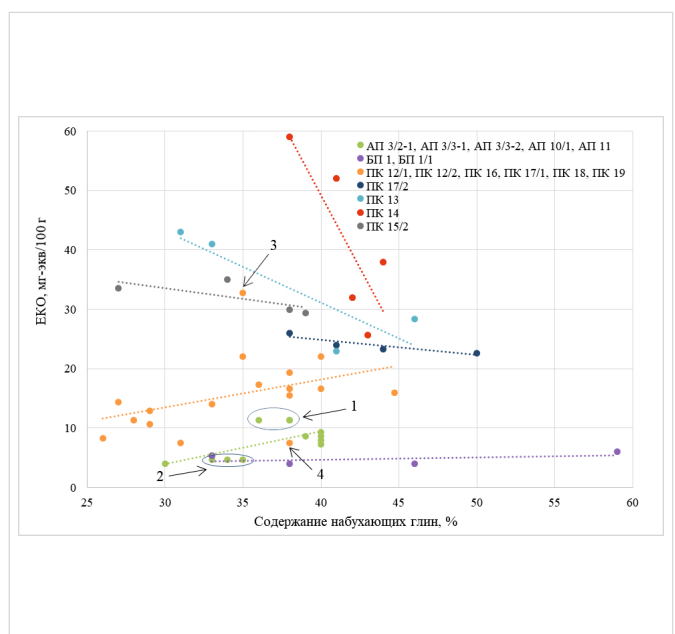


Рис. 3. Тенденция изменения ЕКО от содержания глинистых минералов, способных к набуханию, для пластов групп ПК, АП и БП
Fig. 3. The dependence of the CEC indicator on the content of clay minerals prone to swelling for layers of PK, AP and BP groups

По данным рентгеноструктурного анализа наибольшее количество смешанно-слоистых глин выявлено в пластах ПК13, ПК14, ПК15/2 и ПК17/2. Соотношение иллита к смешаннослоистым в данных пластах максимальное до 2:1, по некоторым образцам доходит до 1:1. По остальным пластам данное соотношение составляет от 6:1 до 3:1, причем с увеличением глубины доля иллита постепенно возрастает, что говорит об активном процессе иллитизации смектита.

По разрезу скважины меняется и профиль — рисунок дифрактограммы исследуемых образцов. Дифрактограмма смешанно-слоистых глинистых минералов в значительной степени меняется от количества смектитовой группы, а также от степени беспорядочности и чередования слоев разных типов. Так, если слои чередуются строго периодически, то профиль пика будет более симметричным, если же чередование хаотичное — появляется «разрыв пика», левое крыло растягивается, и на нём могут проступать отдельные «всплески», так называемые дополнительные максимумы, соответствующие разным возможным комбинациям пакетов.

При рассмотрении профиля дифрактограммы для пластов ПК 13, ПК 14 — с самым высоким значением ЕКО — наблюдается следующая картина: очень широкое, сильно асимметричное левое крыло с целой серией мелких «всплесков» пиков — признак того, что в смешаннослоистом минерале много смектитовых пакетов, чередующихся хаотично.

ПК 15/2 — со средним значением ЕКО — крыло тоже будет заметно растянуто, но, менее хаотично, чем у ПК 13 и 14, «всплески» также присутствуют, но менее выраженные.

Пласты с умеренным ЕКО — ПК17/2, ПК18 и ПК12/2. На дифрактограмме левое крыло будет заметно шире правого, но с более сглаженной картиной «всплесков» из пиков. Смешаннослоистые минералы есть, но они не доминируют так, как в пластах ПК 13 и ПК 14.

Пласты с низкой ЕКО БП 1/1, АП 10/1, АП 11, ПК 12/1, ПК 17/1, ПК 17 — здесь профиль дифрактограммы с симметричным или слабо растянутым пиком, смешаннослоистых минералов мало.

Пласты с высокой глинистостью, но низкой ЕКО АП 3/2-1, АП 3/3-1, АП 3/3-2 и БП 1, ПК19/1. Несмотря на большое содержание глины, пик довольно симметричный, без сильного «размытия» влево, смешаннослоистых минералов мало.

Для пластов группы БП в соответствии с полученными результатами можно сделать следующий вывод: поскольку корреляции между значением ЕКО и процентным содержанием иллита+смешаннослоистых минералов практически нет, это говорит о том, что содержание смектитовых пакетов для этих пластов низкое и примерно одинаковое вниз по разрезу, что также свидетельствует о завершении процесса иллитизации смектита.

В соответствии с этим, можно предположить, что некоторые образцы из пласта АП по своему составу и свойствам ближе к пластам ПК (на рис. 3 группа точек 1), некоторые к пластам БП (на рис. 3 группа точек 2), также часть образцов из пласта ПК12, находящихся на границе раздела, ближе по составу к пласту ПК 15/2 (на Рис. 3 точка 3), некоторые близки к пласту АП (на рис. 3 точка 4). Таким образом, показатель ЕКО может косвенно служить маркером при выделении в геологическом

разрезе отдельных слоев и установлении их возраста.

Для образцов пластов АП, ПК 12/1, ПК 12/2, ПК 16, ПК 17/1, ПК 18 и ПК 19/1 подтверждается классическая зависимость показателя ЕКО от содержания ССО — с увеличением содержания набухающих глин, способность породы к ионному обмену возрастает.

В то же время в пластах ПК 13, ПК 14, ПК 15 и ПК 17/2 наблюдается обратная картина, зависимость приобретает противоположный характер, что говорит о наличии факторов, оказывающих значительное влияние на способность породы к обмену, нарушая классическую зависимость, вплоть до обратной.

Можно предположить, что к таким факторам относится характер распределения глинистых минералов внутри поровой структуры и между частицами матрицы [12]. Даже при одинаковом общем содержании глины, форма и расположение ее частиц в поровом пространстве меняют доступность обменных центров. Так, в одном случае глина может образовывать тонкие плёнки на зернах, делая почти все свои обменные центры доступными, что приводит к высоким значениям ЕКО, а в другом — формировать плотные агрегаты или заполнять поры более массивно, «запирая» часть поверхности внутри агрегатов и уменьшая доступность обменных центров, ЕКО при том же количестве глины будет гораздо ниже. Прослой и линзы глин — дают локальные зоны с высокой ЕКО.

Такая неравномерность способна оказывать влияние на способность глинистых минералов к обмену, вследствие чего, при

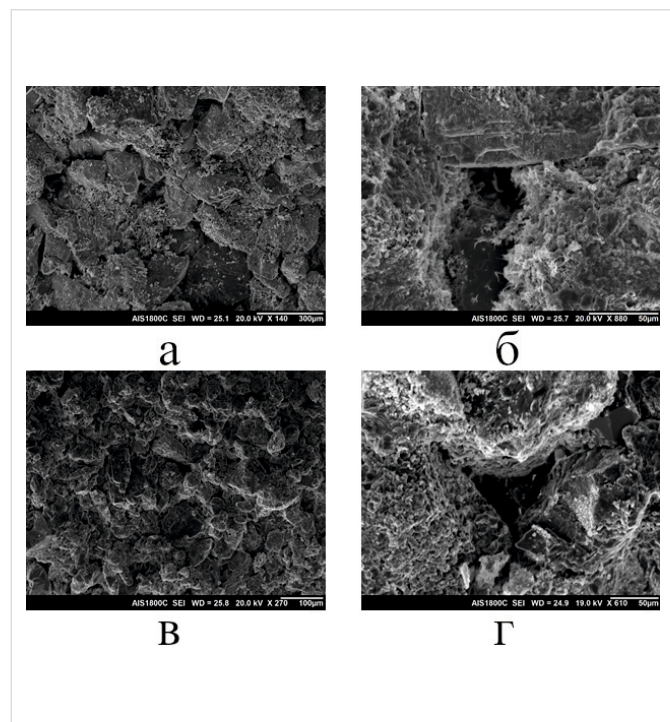


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки: а, б — неравномерное распределение глинистого цемента для пластов с обратной зависимостью показателя ЕКО от содержания ССО; в, г — равномерное распределение глинистого цемента для пластов с классической зависимостью показателя ЕКО от содержания ССО
Fig. 4. Electron microscopic images: а, б — uneven distribution of clay cement for formations with inverse dependence of the CEC indicator on the content of mixed layer minerals; в, г — uniform distribution of clay cement for formations with a classical dependence of the CEC indicator on the content of mixed layer minerals

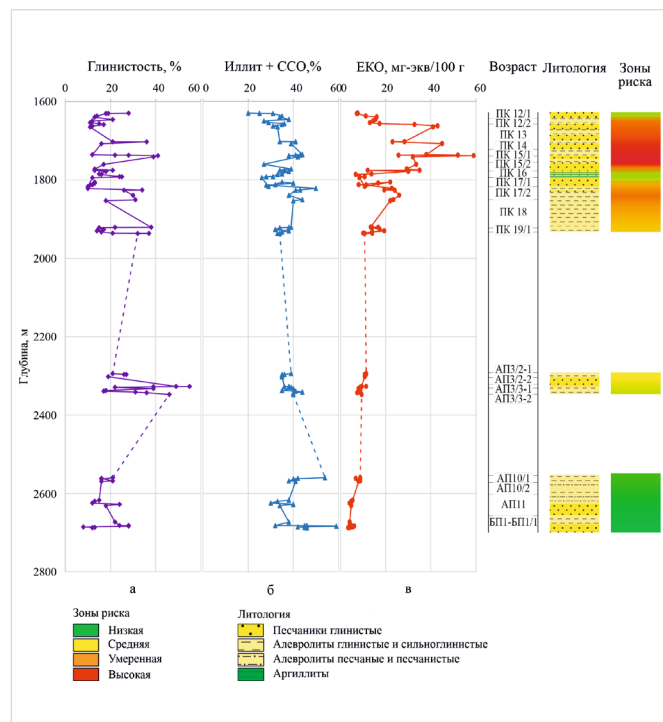


Рис. 5. Распределение зон риска в разрезе скважины по комплексу лабораторных данных
Fig. 5. Distribution of risk zones at the well site based on a set of laboratory data and correlation relationships

одинаковом процентном содержании глинистых минералов, ЕКО может значительно отличаться.

Для подтверждения данного предположения образцы пород были изучены на растровом электронном микроскопе (РЭМ), который позволяет проводить исследование поверхности образцов с высоким разрешением. Для получения изображения поверхности образцов с целью изучения морфологических особенностей, структуры порового пространства и характера распределения цемента использовался растровый электронный микроскоп SERON AIS1800C с комбинированной системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax EDS «XFlash 610 Mini» фирмы Bruker (ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1,08 нА, $t = 10$ сек.).

На полученных изображениях (рис. 4) выявлено существенное различие в типах распределения глинистых минералов в породе. Так, для образцов, проявляющих классическую корреляцию показателя ЕКО от содержания ССО, глинистые минералы распределены в виде сплошных и прерывистых тонких пленок по поверхностям зерен и внутри межзернового пространства, развиваются в виде микроагрегатов, средний размер которых 10–15 мкм, в крупных порах, не уменьшая их радиус (рис. 4 в, г). Для пластов групп АП и БП особенно четко видно нарастание аутигенных пленок хлорита с незначительным содержанием каолинита по контурам зерен, отмечаются редкие контакты со спутанно-волокнистыми агрегатами гидрослюд и ССО. Глинистый цемент по отношению к обломочным зернам преимущественно пленочный и порово-пленочный.

В то же время в образцах, которые показали обратную зависимость прослеживается существенная неоднородность распределения глин, имеются бесцементные участки, либо присутствуют микрочешуйчатые агрегаты большего размера, до 40 мкм, которые практически полностью заполняют пустотное пространство и усложняют его структуру (рис. 4 а, б). Глинистый цемент порового, порово-пленочного и пленочного-порового типа.

Степень агрегирования глинистого цемента зависит от ряда факторов — состав ионообменного комплекса, минерализация и pH пластовых флюидов, температура, давление, а также механические воздействия в процессе формирования залежи. Таким образом, принимая во внимание вышеописанные закономерности, можно судить о геологической обстановке в тот или иной период времени и проследить изменения в условиях осадконакопления [13]. Например, в спокойной глубокой воде накопление тонкодисперсных частиц происходит равномерно, агрегаты либо не образуются, либо разрушаются при оседании, в очень динамичных водных потоках агрегирование также затруднено; напротив, в зонах с умеренной турбулентностью и переменным гидродинамическим режимом (приливо отливные равнины, дельтовые фронты) частицы сталкиваются и формируют плотные агрегаты. Присутствие таких компонентов, как оксиды железа, карбонатные минералы, кремнеземы, высокая минерализация воды способны усиливать агрегацию. Все это приведет к тому, что в разрезе появятся зоны с высокой фациальной неоднородностью и, как следствие, с локальными особенностями показателя ЕКО.

На основании полученного комплекса лабораторных данных предложено в разрезе

скважины выделять зоны риска (рис. 5). К факторам, относящим участок к той или иной зоне риска, следует отнести: повышенную ЕКО при умеренной глинистости породы, а также характер распределения глинистого цемента в породе, анализируя которые можно спрогнозировать поведение породы по стволу скважины и точно скорректировать режимы работы при бурении и разработке и проведении МУН.

Так, на примере изучаемой скважины, в зонах максимального риска оказываются пласты ПК13 и ПК14, как наиболее неоднородные, а также пласты ПК 15/2 и ПК 17/2 с чуть менее выраженной неоднородностью, в соответствии с чем им необходимо уделить особое внимание при прогнозировании реакционной способности породы при взаимодействии с буровыми растворами или закачиваемыми агентами.

Итоги

В ходе исследований образцов керны Западной Сибири был получен ряд интересных результатов относительно связи показателя ЕКО и минерального состава породы. Были определены основные закономерности изменения показателя ЕКО от состава глинистой фракции, содержания смешаннослойных минералов, их распределения в поровом пространстве породы, а также показана важность совместного использования метода рентгеноструктурного анализа и растрового электронного микроскопа для их комплексного изучения.

Кроме того, было выявлено изменение состава глинистых минералов с глубиной залегания: уменьшение количества смешаннослойных фаз и каолинита с одновременным увеличением содержания иллита и хлорита, что может говорить о трансформации глинистых минералов и их свойств на разных стадиях литогенеза.

Анализ значений ёмкости катионного обмена в комплексе с иными параметрами позволяет выявить особенности геологической обстановки в различные периоды осадконакопления и проследить эволюцию седиментационных процессов. В частности, характер неоднородности распределения глинистых минералов и ЕКО (при сопоставлении с литолого-стратиграфическими и минералогическими данными), может служить одним из индикаторов смены условий осадкообразования и дифференциации пласта на отдельные седиментационные циклы.

Показатель ёмкости катионного обмена может служить косвенным маркером при оценке относительного возраста слоев, поскольку отражает минералогические трансформации глинистой фракции, а именно процесс иллитизации смектитов — постепенное преобразование смектита в иллит через формирование промежуточных смешаннослойных иллит смектитовых пакетов. Это дает возможность уточнять границы между слоями, сформированными на разных стадиях диагенеза, и обосновывать их относительный возраст на основе степени преобразованности глинистых минералов.

Описанный выше комплекс зависимостей и закономерностей может быть использован для уточнения геологических моделей и дальнейшего подсчета запасов. На основании полученного массива лабораторных данных предложено выделять зоны с повышенным риском для моделирования и прогнозирования поведения породы в зависимости от

минералогического состава и неоднородности распределения глинистых минералов, обуславливающих различие свойств внутри пласта.

Выводы

В ходе исследования керны Западной Сибири установлена связь показателя ёмкости катионного обмена с минеральным составом глинистой фракции и её распределением в породе.

Было показано, что с ростом глубины снижается доля смешаннослойных фаз и каолинита, увеличивается содержание иллита и хлорита, что отражает минералогические изменения на стадиях литогенеза. ЕКО коррелирует с процессом иллитизации смектитов и может служить косвенным маркером относительного возраста слоев и критерием выделения седиментационных циклов.

Выявленные закономерности позволяют повысить достоверность геологических моделей за счет выделения зон с повышенным риском для прогноза фильтрационно-ёмкостных свойств пласта и, в дальнейшем, учитывать их при подсчёте запасов углеводородов.

Литература

1. Акелян Н.С., Вайнгардт А.А., Пискунова А.А., Леонов Я.А. Возможность применения ингибирующих реагентов с целью предотвращения набухаемости глинистых минералов при разработке продуктивных пластов ачимовских отложений // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 6. С. 30–34.
2. Клубова Т.Т. Глинистые коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1988. 157 с.
3. Saidian M., Godínez L.J., Prasad M. et al. Effect of clay and organic matter on nitrogen adsorption specific surface area and cation exchange capacity in shales (mudrocks). Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, Vol. 33, P. 1095–1106. (In Engl.).
4. Казак Е.С., Богданович Н.Н., Плотников В.В. Ёмкость катионного обмена пород доманиковой свиты как параметр для интерпретации материалов ГИС // Труды Международной геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии». Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2018. С. 393–397.
5. Прошляков Б.К., Гальянова Т.И., Пименов Ю.Г. Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах. М.: Недра, 1987. 200 с.
6. Зхус И.Д., Саркисян С.Г., Макарова Л.Н., Власова Л.В. Глинистые минералы терригенных отложений. М.: Наука, 1977. 114 с.
7. Попов В.П., Абдрахманов Р.Ф. Введение в обменно-адсорбционную концепцию формирования подземных вод; структура и ионообменные свойства глинистых минералов, кинетика процессов // Геологический сборник. 2014. № 11. С. 233–242.
8. Белоусов П.Е., Покидько Б.В., Закусин С.В., Крупская В.В. Количественные методы определения содержания монтмориллонита в бентонитовых глинах. Георесурсы. 2020. Т. 22. № 3. С. 38–47.
9. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г., Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород.

- М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 592 с.
10. Акелян Н.С., Вайнгарт А.А., Пискунова А.А., Чурков А.В. Влияние изоморфизма карбонатных минералов на деформационно-прочностные свойства горных пород // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 6. С. 28–34.
11. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. М.: Мир, 1965. 599 с.
12. Кривова Н.Р., Леонтьев С.А. Влияние набухания глинистых минералов на выработку запасов // Недропользование. 2024. Т. 24. № 2. С. 86–92.
13. Карпова Г.В., Глинистые минералы и их эволюция в терригенных отложениях. М.: Недра, 1972. 175 с.

ENGLISH

Results

During the study of core samples from Western Siberia, a number of interesting results were obtained regarding the relationship between the EKO index and the mineral composition of the rock. The main patterns of change in the EKO index depending on the composition of the clay fraction, the content of mixed layer minerals, and their distribution in the pore space of the rock were identified, and the importance of combining X ray structural analysis with a scanning electron microscope for their comprehensive study was demonstrated. Furthermore, a change in the composition of clay minerals with depth was identified: a decrease in the amount of mixed layer phases and kaolinite, accompanied by an increase in the content of illite and chlorite, which may indicate the transformation of clay minerals and their properties at different stages of lithogenesis. Analysis of the values of cation exchange capacity (CEC) in combination with other parameters makes it possible to identify the characteristics of the geological setting during various periods of sedimentation and to trace the evolution of sedimentation processes. In particular, the nature of the heterogeneity in the distribution of clay minerals and CEC serves as an important indicator of changes in sedimentation conditions and the differentiation of the stratum into separate sedimentation cycles. The cation exchange capacity indicator can serve as an indirect marker when assessing the relative age of layers, as it reflects the mineralogical transformations of the clay fraction. Changes in the CEC reflect the process of illitization of smectites — the gradual transformation of smectite into illite through the formation of intermediate mixed layer illite smectite packages.

This makes it possible to refine the boundaries between layers formed at different stages of diagenesis and to substantiate their relative age based on the degree of transformation of clay minerals. The complex of dependencies and patterns described above can be used to refine geological models and further calculate reserves. Based on the obtained array of laboratory data and correlations, it is proposed to identify zones with increased risk for modeling and predicting the behavior of the rock, depending on the mineral composition and the heterogeneity of clay mineral distribution, which cause differences in properties within the formation.

Conclusions

During the study of core samples from Western Siberia, a relationship was established between the cation exchange capacity and the mineral composition of the clay fraction and its distribution in the rock. It was shown that as depth increases, the proportion of mixed layer phases and kaolinite decreases, while the content of illite and chlorite increases, which reflects mineralogical changes at the stages of lithogenesis. CEC correlates with the illitization process of smectites and can serve as an indirect marker of the relative age of the layers and a criterion for identifying sedimentary cycles. The identified patterns make it possible to increase the reliability of geological models by identifying zones with an increased risk for predicting the reservoir's filtration and storage properties, and subsequently to take them into account when calculating hydrocarbon reserves.

References

1. Akelyan N.S., Weingardt A.A., Piskunova A.A., Leonov Y.A. The possibility of using inhibitory reagents to prevent the swelling of clay minerals during the development of productive layers in the Achimov deposits. Exposition Oil Gas, 2025, issue 6, P. 60–64. (In Russ).
2. Klubova T.T. Clayey oil and gas reservoirs. Moscow: Nedra, 1988, 157 p. (In Russ).
3. Saidian M., Godinez L.J., Prasad M. et al. Effect of clay and organic matter on nitrogen adsorption specific surface area and cation exchange capacity in shales (mudrocks). Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, Vol. 33, P. 1095–1106. (In Eng).
4. Kazak E.S., Bogdanovich N.N., Plotnikov V.V. Cation exchange capacity of rocks of the domanik formation as a parameter for interpreting well logging data. Proceedings of the international geological and geophysical conference “GeoEurasia 2018”. Modern methods of study and development of the subsurface of Eurasia. Tver: “PolyPRESS” LLC, 2018, P. 393–397. (In Russ).
5. Proshlyakov B.K., Galyanova T.I., Pimenov Yu.G. Reservoir properties of sedimentary rocks at great depths. Moscow: Nedra, 1987, 200 p. (In Russ).
6. Zkhus I.D., Sarkisyan S.G., Makarova L.N., Vlasova L.V. Clay minerals of terrigenous deposits. Moscow: Nauka, 1977, 114 p. (In Russ).
7. Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Introduction to the concept of exchange-adsorption of groundwater formation: structure and ion exchange properties of clay minerals, the kinetics of the process. Geologicheskii Vestnik, 2014, issue 11, P. 233–242. (In Russ).
8. Belousov P.E., Pokidko B.V., Zakusin S.V., Krupskaya V.V. Quantitative methods for quantification of montmorillonite content in bentonite clays. Georesources, 2020, Vol. 22, issue 3, P. 38–47. (In Russ).
9. Gudok N.S., Bogdanovich N.N., Martynov V.G. Determination of physical properties of oil-and-water-bearing rocks. Moscow: Nedra-Businesscenter LLC, 2007, 592 p. (In Russ).
10. Akelyan N.S., Weungardt A.A., Piskunova A.A., Churkov A.V. The effect of isomorphism of carbonate minerals on the deformation and strength properties of rocks. Exposition Oil Gas, 2024, issue 6, P. 28–34. (In Russ).
11. X-ray Methods of Study and the Structure of Clay Minerals / ed. by G. Brown. Moscow: Mir, 1965, 599 p. (In Russ).
12. Krivova N.R., Leontyev S.A. The influence of clay minerals swelling on reserve production. Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2024, Vol. 24, issue 2, P.86–92. (In Russ).
13. Karpova G.V. Clay Minerals and their evolution in terrigenous deposits. Moscow: Nedra, 1972, 175 p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Акелян Нушик Самадовна, главный специалист, Филиал ООО «РН-ГИР» в г. Уфе – БашНИПнефть (Обособленное подразделение в г. Краснодаре), Краснодар, Россия
Для контактов: akelyanns@rn-gir.rosneft.ru

Пискунова Анна Алексеевна, ведущий специалист, Филиал ООО «РН-ГИР» в г. Уфе – БашНИПнефть (Обособленное подразделение в г. Краснодаре), Краснодар, Россия

Саркисян Карина Аршаковна, ведущий специалист, филиал ООО «РН-ГИР» в г. Уфе – БашНИПнефть (Обособленное подразделение в г. Краснодаре), Краснодар, Россия

Akelyan Nushik Samadovna, chief specialist, Branch of “RN-GIR” LLC in the city of Ufa – BashNIPneft, (Separate Subdivision in Krasnodar), Krasnodar, Russia
For contacts: akelyanns@rn-gir.rosneft.ru

Piskunova Anna Alekseevna, leading specialist, Branch of “RN-GIR” LLC in the city of Ufa – BashNIPneft, (Separate Subdivision in Krasnodar), Krasnodar, Russia

Sarkisyan Karina Arshakovna, leading specialist, Branch of “RN-GIR” LLC in the city of Ufa – BashNIPneft, (Separate Subdivision in Krasnodar), Krasnodar, Russia