

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВТОРИЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

На основе результатов исследований получены характеристики основных типов вторичных изменений пород-коллекторов на территории Западно-Сибирской плиты. Самыми распространенными типами вторичных изменений пород-коллекторов являются процессы цеолитизации, карбонатизации и выщелачивания. Установлено, что эти процессы носят в основном региональный характер и приурочены к тектонически активным зонам земной коры. Разработан комплекс диагностических признаков для выявления основных типов вторичных изменений.

Ключевые слова: цеолиты; карбонаты; выщелачивание; вторичное минералообразование; коллектор.

Введение

Результаты многолетних исследований ряда авторов [1–5] показывают, что в тектонически активных зонах в пределах осадочного чехла Западно-Сибирской плиты формируются минералогические и катагенетические аномалии. Как правило, эти аномалии выражаются в значительном преобладании количества аутигенных минералов цемента и существенном изменении структуры и состава обломочного каркаса пород. Аномальные зоны имеют значительную площадь распространения (до нескольких тысяч квадратных километров) и приурочены к тектонически активным зонам земной коры. Эти зоны оказывают существенное влияние на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород-коллекторов, что в результате сказывается на качестве процессов проектирования, управления и контроля за разработкой месторождений углеводородов (УВ). Все это в конечном итоге приводит к существенным колебаниям коэффициента извлечения нефти и уровней добычи углеводородного сырья. Анализ и снижение неопределенностей, связанных с процессами вторичного изменения пород-коллекторов, в значительной мере могут повлиять на стратегию разработки месторождений УВ, на выбор различных вариантов размещения эксплуатационных и нагнетательных скважин и на планирование геолого-технологических мероприятий.

Объекты и методы исследований

В ходе работ с керновым материалом продуктивных пластов месторождений УВ, относящихся к самым разным стратиграфическим интервалам, были определены основные типы вторичных изменений пород-коллекторов, которые наиболее часто встречаются в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты. Вторичные изменения затрагивают не один пласт, а, как правило, группу пластов, сформировавшихся в схожих геологических условиях и близких по своему вещественному составу. Поэтому первичный анализ вторичных изменений проводился в пределах групп пластов, где описывались тип вторичных изменений, его процентное содержание от общего объема породы, частота встречаемости и т.д. При микроскопическом исследовании выполнялось изучение структурных характеристик вторичных минералов, их состав и

степени изменчивости. В результате проведенных исследований к основным типам вторичных изменений были отнесены процессы цеолитизации, карбонатизации, выщелачивания и установлены геологические районы и месторождения, где эти процессы выражены особенно ярко.

Следующим шагом было определение типичных геологических условий формирования пород-коллекторов на выделенных площадях. Для этого использовался метод построения седиментологических моделей, когда на первом этапе для каждого из рассматриваемых геологических объектов выделялись характерные для них литотипы. Число выделенных литотипов не нормировалось, так как для разных генетических типов пород-коллекторов количество литотипов может существенно отличаться. На втором этапе литотипы сгруппировывались в фации, для которых идентифицировались условия осадконакопления. Затем фации сгруппировывались в фациальные ассоциации по принципу особенностей осадконакопления и различий в ФЕС. На заключительном этапе для каждой фациальной ассоциации составлялись типичные каротажные диаграммы, которые использовались для выделения фациальных ассоциаций в скважинах, не охарактеризованных керном. Карты фациальных ассоциаций позволили уточнить существующую корреляцию и определить основные направления транспортировки осадочного материала. После этого был проведен генетический анализ основных типов пород-коллекторов и выполнены типизация и оценка влияния каждого типа вторичных изменений на ФЕС пород-коллекторов. Результатом обобщения всех материалов явились седиментационные модели, которые легли в основу 3D геологических моделей, что позволило с высокой степенью достоверности пространственно локализовать зоны наиболее высоких фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и выделить литологические ловушки углеводородов.

Цеолитизация

В настоящее время зоны с максимальной концентрацией вторичной цеолитовой минерализации приурочены к тектонически активным зонам в океанах, где, в соответствии с конвекционной моделью Е. Бонатти – И. Тота, происходит проникновение морской воды в разогретые породы базальтового ряда [6].

В результате таких реакций происходит формирование вторичных минеральных парагенезисов, состав которых напрямую зависит от состава вмещающих пород. На формирование цеолитов определенное влияние оказывают эпигенетические (наложенные) изменения продуктивных пластов. Эти изменения заключаются в формировании вторичных гидротермальных ассоциаций и сопровождаются дегидратацией ряда породообразующих минералов с возможным разуплотнением пород.

Некоторые авторы [7] описывают появление новых парагенезисов вдоль разломов и крупных трещин обрамления, сложенных переработанными минеральными ассоциациями с проницаемостью до первых миллиарди. Это устанавливает пространственную разобщенность проявления процессов цеолитизации и карбонатизации при разгрузке гидротермальных растворов. Ближе к зоне разломов развит цеолит, на удалении с падением парциального давления углекислого газа – кальцит [8]. Такие преобразования являются относительно высокотемпературными, протекают при температуре раствора около 300°C и в древних осадочных толщах прослеживаются на больших глубинах, будучи приуроченными к триасовым вулканогенно-осадочным отложениям прогибов и рифтовых зон.

Особенности наложенного процесса цеолитизации в породах-коллекторах осадочного чехла Западно-Сибирской плиты были рассмотрены на примере *Восточно-Мессояхского, Яро-Яхинского и Заполярного месторождений*.

Восточно-Мессояхское месторождение расположено в ЯНАО на юге Гыданского полуострова в пределах субрегиональной структуры Мессояхской гряды, в центральной ее части, в своде структуры II порядка. Вся площадь месторождения разбита серией горст-грабеновых структур, которые имеют субмеридиональное простирание, по отношению к валу косесекущие. На основе изучения кернового материала и данных каротажа скважин, пробуренных в 2011–2014 гг., установлено, что цеолитизация четко приурочена к средней части суходудинской свиты нижнего мела, которая формировалась на границе разных обстановок осадконакопления – морской и континентальной. В нижней части исследуемого интервала пласты формировались на фоне некоторого погружения мелководного бассейна. Затем, в ходе небольшой регрессии, происходила проградация морской дельты вглубь берегового склона в юго-западном направлении, а верхняя часть интервала формировалась в обстановке надводной части дельты.

Яро-Яхинское месторождение расположено в ЯНАО в пределах структуры второго порядка – Яро-Яхинского структурного мыса, который осложнен локальными поднятиями, многочисленными разломами и зонами дробления. Цеолитизация на Яро-Яхинском месторождении связана с продуктивными отложениями заполярной и мегионской свит нижнего мела. Нижняя часть интервала формировалась на фоне активной трансгрессии моря: состав комплекса преимущественно глинистый, сильно биотурбированный. Формирование осадочного комплекса средней

части связано с проградацией шельфового массива фаций вглубь бассейна на фоне незначительного изменения уровня моря. Во время формирования отложений верхней части интервала уровень моря значительно понизился, и на фоне активного привноса в бассейн осадочного материала сформировался комплекс пород, приуроченный к дельтовому комплексу мелководного шельфа.

Заполярное месторождение расположено в ЯНАО в пределах структуры первого порядка – Хадырьяхинской моноклинали, которая осложнена локальными поднятиями. Процессы цеолитизации, как и в случае с Яро-Яхинским месторождением, приурочены к продуктивным отложениям заполярной и мегионской свит нижнего мела. Формирование продуктивных пластов практически идентично механизму формирования Яро-Яхинского месторождения и описано выше.

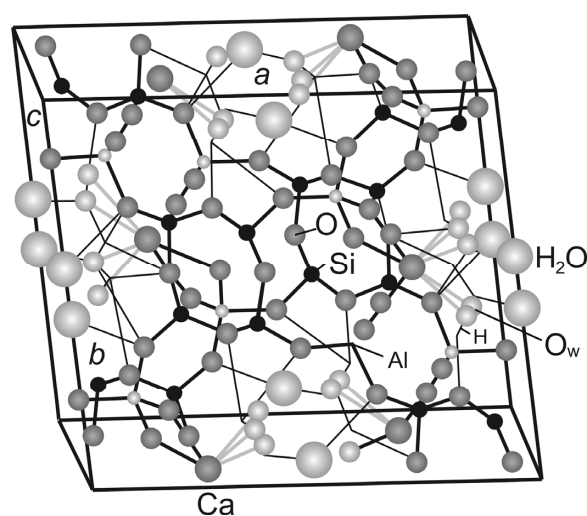


Рис. 1. Структура ломонтита: расположение и связи всех атомов и молекул в элементарной ячейке [9]:
a, b, c – границы проекции элементарной ячейки;
Ca – атомы кальция; Si – атомы кремния; H – атомы водорода;
Al – атомы алюминия; H₂O – молекула воды;
W(1) – номер элементарной ячейки

По результатам выполненного рентгеноструктурного анализа цеолит, встреченный на Восточно-Мессояхском, Яро-Яхинском и Заполярном месторождениях, представлен ломонтитом, типичная оксидная формула которого выглядит как $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Кристаллическая структура является переходной от субцепочечных алюмосиликатов к слоистым. Ломонтит образует агрегаты из призматических кристаллов с совершенной спайностью и выполняет роль порового и пойкилитового цемента в породах-коллекторах (рис. 1). На Яро-Яхинском и Заполярном месторождениях кроме ломонтита встречается натриевая разновидность – томпсонит, типичная оксидная формула которого выглядит как $(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2,4\text{H}_2\text{O}$.

Размер пятен цеолитов может достигать нескольких миллиметров. Пятна цеолитов достаточно хорошо диагностируются визуально в керне. Ломонтит и томпсонит образуют агрегаты из призматических кристаллов с совершенной спайностью с хорошо вы-

раженной ступенчатой отдельностью кристаллических агрегатов и выполняют в породе роль порового и пойкилитового цемента в песчанике (рис. 2). Его содержание в цементе породы может быть разным и в значительной степени зависит от ФЕС пород-коллекторов, т.е. от условий осадконакопления. Такая зависимость объясняется тем, что цеолитсодержащая горная порода имеет песчано-алевритовый каркас, часть пор которого заполняется хлоритовым и карбонатным цементом, а другая часть – цеолитами [10]. Это подтверждается выявленной стадийностью минералообразования для Восточно-Мессояхского, Яро-Яхинского и Заполярного месторождений. Одними из первых образовались регенерационный кварц и каолинит, более поздней по времени образования можно

считать гидрослюда. В дальнейшем происходило формирование хлорита, далее кристаллизовались цеолиты, заполняющие пространство между зернами с уже существующими пленками хлорита. Практически одновременно с цеолитами образуются глинистые минералы – каолинит и гидрослюда. Их формирование происходит на более ранних стадиях относительно цеолитов, поэтому для пород-коллекторов Восточно-Мессояхского, Яро-Яхинского и Заполярного месторождений наблюдается следующая зависимость: в песчаниках, где содержится незначительное количество глинистых минералов, количество цеолитов достаточно велико, а в алевритах с содержанием глинистых минералов более 10% цеолиты практически отсутствуют.

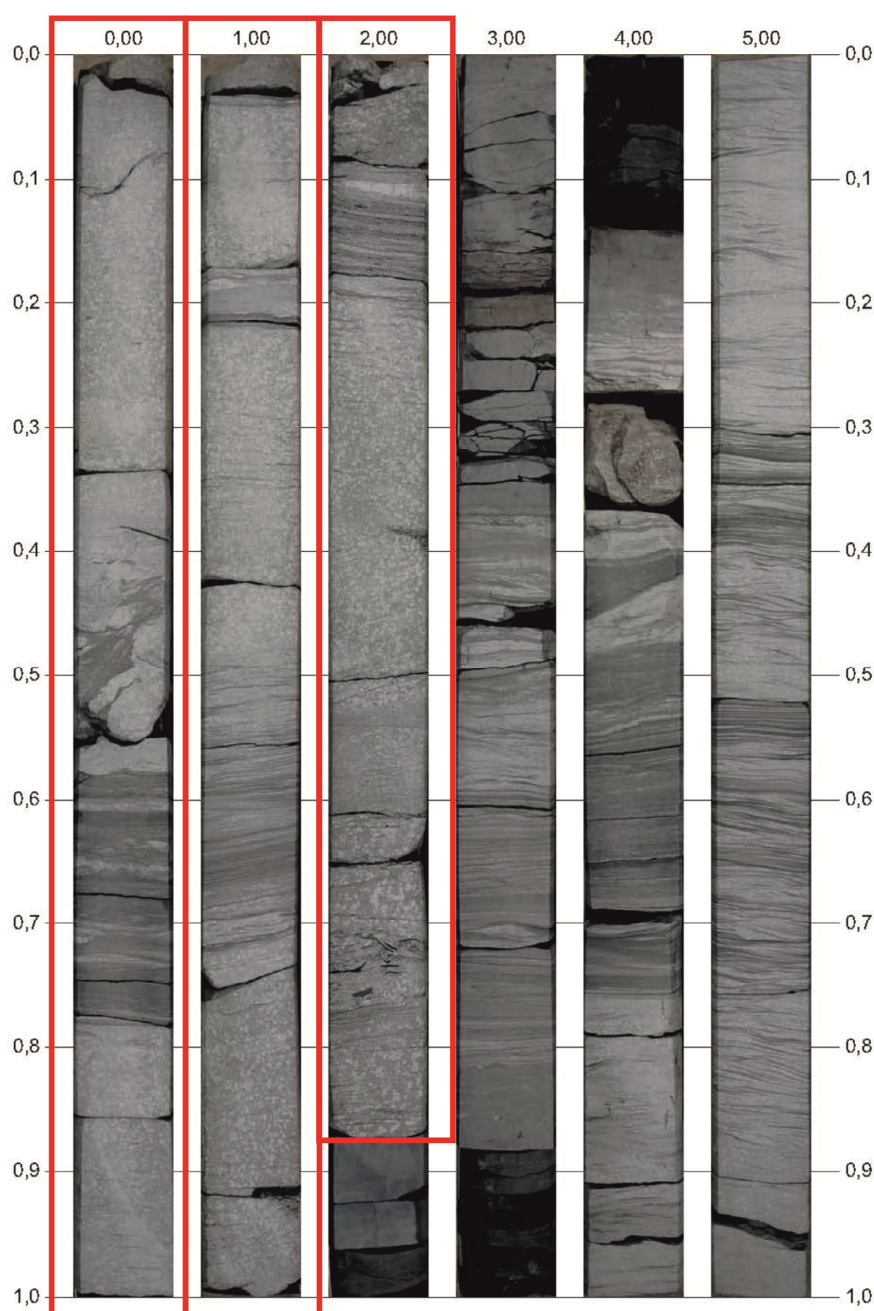


Рис. 2. Фотография распиленного керна с признаками цеолитизации, Восточно-Мессояхское месторождение (зоны цеолитизации выделены серыми рамками)

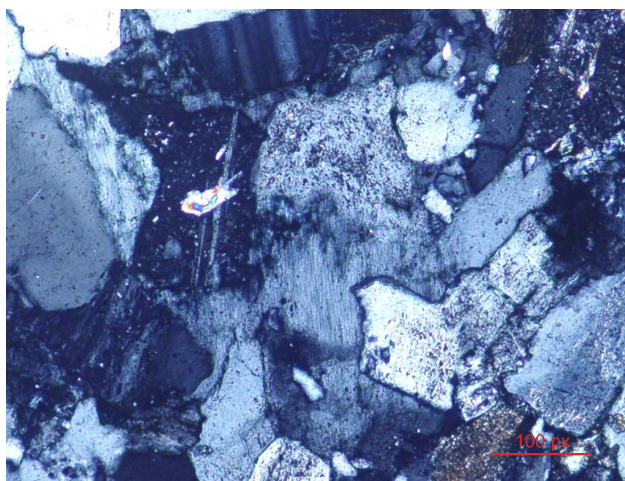


Рис. 3а. Песчаник средне-мелкозернистый, полиминтовый, однородный, с глинистым и цеолитовым цементом. Вид – при скрещенных николях, увеличение 100×. Восточно-Мессояхское месторождение, скв. Х. Пласт БУ₁₃¹

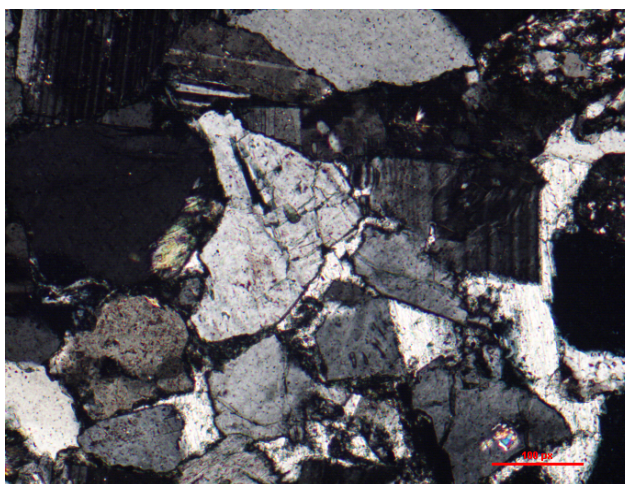


Рис. 3б. Песчаник мелкозернистый, граувакковый (полевошпат-кварцевый), с цеолитовым и глинистым цементом. Вид – при скрещенных николях, увеличение 100×. Яро-Яхинское месторождение, скв. Х. Пласт БУ₁₃¹

Процесс кристаллизации цеолитов оказывает прямое влияние на конечное количество свободных пор в песчано-алевритовых породах. Например, если в песчаниках содержание цеолитов достигает 13%, то при этом средняя эффективная пористость может достигать 17%. С уменьшением размера обломочных зерен уменьшается количество пор и цеолитов. В мелко- и тонкозернистых песчаниках с содержанием цеолитов количество свободных пор составляет менее 10%, а в алевритах цеолиты практически отсутствуют [11]. В результате проведенных исследований ядерного материала удалось привязать зоны с максимальным развитием цеолитизации к определенному набору фаций, характерных для данного стратиграфического интервала. Таким набором являются фации проксимального фронта дельты и проксимального берегового склона (рис. 3а, 3б).

Цеолиты в цементе пород-коллекторов достаточно часто встречаются в ассоциации с хлоритом, кальцитом и гидрослюдой и практически никогда с каолинитом. Дело в том, что каолинит образуется в кислой среде, а цеолиты в щелочной. Из этого следует, что в процессе формирования пород-коллекторов на стадии

диагенеза и катагенеза химизм водной среды менялся с кислой на щелочную. Такая смена химизма, скорее всего, связана со скоростью прохождения растворов по высокопроницаемым зонам, сформировавшимся при многочисленных структурных перестройках. Процесс формирования цеолитовой ассоциации протекал достаточно продолжительное время, с периодами усиления или ослабления процесса. Учитывая масштабы распространения данной ассоциации по площади, морфологические особенности и вторичность процессов, с которыми связана цеолитизация уже сформировавшихся пород-коллекторов, можно говорить об эпигенетическом характере происхождения цеолитов. Это предположение находит свое подтверждение при изучении шлифов, где хорошо видно, что цеолиты не только заполняют пустотное пространство, но и достаточно часто замещают отдельные зерна, как правило, полевых шпатов.

Карбонатизация

Одним из самых распространенных процессов вторичного преобразования пород-коллекторов явля-

ется карбонатизация. Исследования последних лет [12] показали, что состав карбонатов меняется в разных стратиграфических комплексах. В юрских отложениях доминируют сидерит, анкерит и доломит, а кальцит находится в подчиненном положении. Анализ исследований доюрского фундамента Западно-Сибирской плиты говорит о том, что для меловых отложений Западно-Сибирской плиты уже доломит и сидерит находятся в подчиненном положении, а доминирует кальцит [13]. Сидерит и доломит присутствуют в трещинах и порах пород юрской толщи на границе с фундаментом, а также в кровельной части пород самого складчатого основания. Сидерит в таких случаях практически всегда генетически связан со структурно несовершенным каолинитом. При удалении от зоны контакта «фундамент – чехол» вверх по разрезу происходит уменьшение разновидностей вторичных карбонатов и освобождение их от изоморфных примесей железа и магния. Вследствие этого доломит-сидеритовая ассоциация уступает место единственному минералу – кальциту.

Описанная зональность подтверждается исследованиями, проведенными на кернах *Новопортовского* и *Чатылькинского месторождений*, где объектом изучения были отложения юрского комплекса, а на кернах *Новогоднего* и *Восточно-Мессояхского месторождений* изучались отложения мелового комплекса. Проведенный седиментологический анализ

показал, что юрский комплекс пород на Новопортовском и Чатылькинском месторождениях формировался в условиях дельтовой системы флювиального типа с доминированием речного потока над волновыми и приливными процессами. Дельтовый комплекс представлял собой сложный комплекс дистрибутивных русел, устьевых баров, подвергающихся волновой переработке, и пляжевых отложений береговой равнины, характерной для волновых дельт. Отложения нижнемелового возраста Новогоднего и Восточно-Мессояхского месторождений сформировались в условиях трансгрессивно-регрессивного типа осадконакопления в периоды усиленной регрессии, в процессе которой происходила эрозия и размыв осадков верхней части разреза. За регрессией следовала трансгрессия, эродированные отложения перекрывались грубообломочным материалом (инициально-трансгрессивная стадия, базальные слои) и далее глинистыми осадками. В процессе дальнейшей седиментации на границе размыва формировались песчаники с карбонатным цементом (плотные прослои), которые являются вещественным отображением поверхности размыва. Карбонаты образуют как единичные зерна, которые заполняют редкие поры, так и выступают в роли основных минералов цемента, но иногда встречаются линзообразные формы нахождения карбонатов (рис. 4, 5а, 5б).

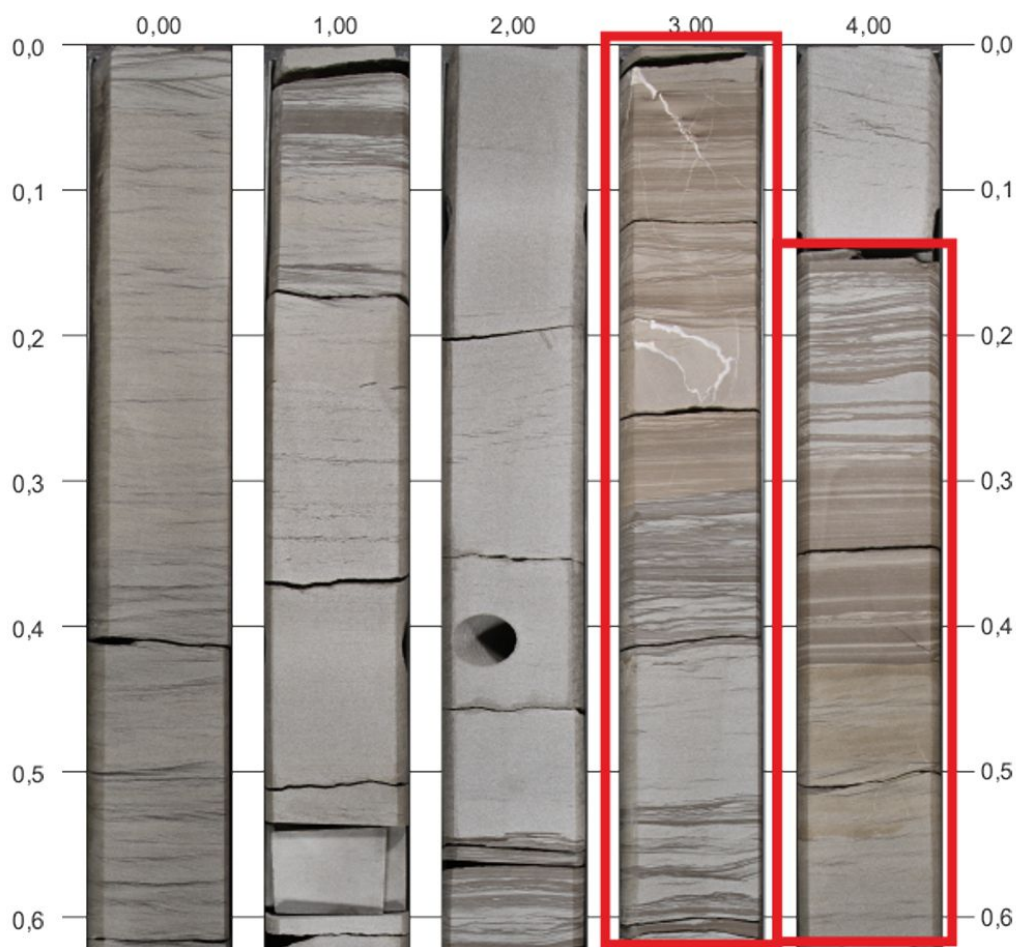


Рис. 4. Фотография распиленного керна с признаками карбонатизации, Новопортовское месторождение (зоны карбонатизации выделены серыми рамками)

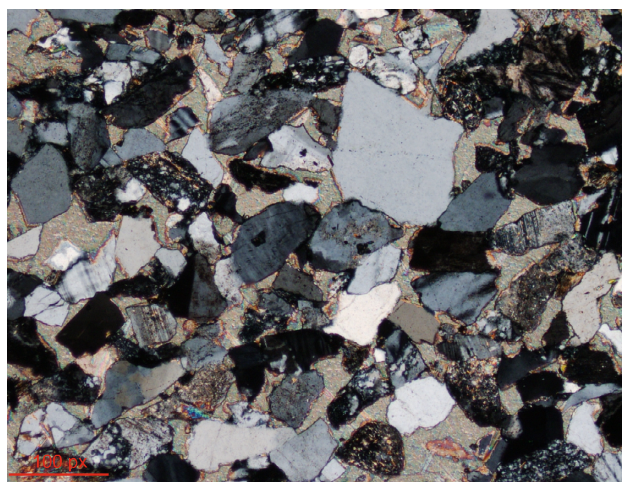


Рис. 5а. Песчаник мелкозернистый с карбонатным цементом, слоистый.
Вид – при скрещенных николях, увеличение 100×.
Новогоднее месторождение, скв. X. Пласт БВ₃¹

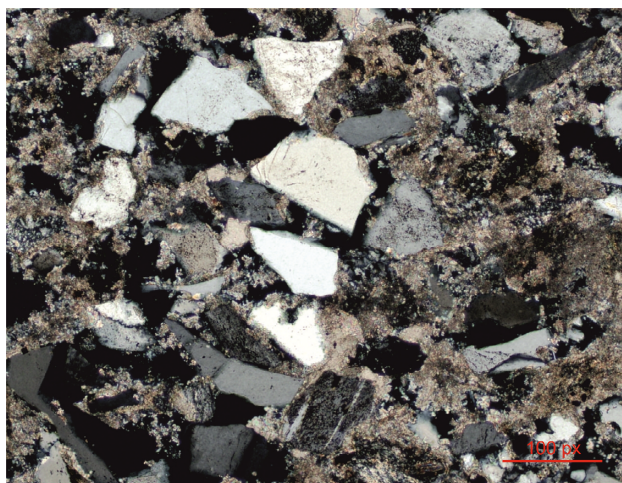


Рис. 5б. Песчаник среднезернистый с карбонатным цементом.
Вид – при скрещенных николях, увеличение 100×.
Новопортовское месторождение, скв. X. Пласт Ю_{2,6}

Карбонаты заполняют поры между сохранившимися обломками, где формируют базальный или пойкилитовый типы цемента, который может частично замещать первичный, а также залечивать имеющиеся открытые поры и трещины. На участках, где кальцит становится наиболее «агрессивным», наблюдается резкое усиление коррозии и метасоматоза кластогенных ингредиентов и цемента.

Для пород-коллекторов Восточно-Мессояхского и Новогоднего месторождений в составе цемента чаще встречается кальцит, а на Новопортовском и Чатылькинском месторождениях в общем объеме карбонатов доминируют сидерит и доломит. Размер зерен карбонатных минералов редко превышает доли миллиметра. В породах, где содержание глинистой фракции больше 10%, количество карбонатовкратно выше, чем в породах с содержанием глинистой фракции менее 10%. Это является зеркальным отображением поведения содержания цеолитов в зависимости от содержания в породе глинистых минералов. В нижней части разреза (пласты среднеюрского возраста) содержание карбонатов составляет около 42,0% от общего объема цемента, в

средней части (пласты верхнеюрского возраста) эта цифра уменьшается до 31,0–34,0%, а для продуктивных отложений верхней части разреза (пласты нижнемелового возраста) равна 25,0% (рис. 6).

Такой характер распределения карбонатов очень четко коррелируется с удаленностью пластов по разрезу от контакта осадочных пород с доюрским основанием Западно-Сибирской плиты. Также отмечается корреляция содержания карбонатов в зависимости от фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов: чем больше свободного пространства в песчано-алевритовом каркасе формирующейся породы, тем больше в ней содержание карбонатов. Это подтверждает наше предположение о том, что глинистая составляющая породы образуется раньше карбонатных минералов.

По данным изучения шлифов нельзя говорить только об эпигенетическом характере происхождения карбонатов: какая-то часть карбонатного материала накапливалась вместе с первичными осадками и перераспределялась на стадии катагенеза. Однако с большой долей уверенности можно утверждать, что ос-

новная масса карбонатов, заполняющих поровое пространство пород-коллекторов в виде цемента, сформировалась при тектонической активизации рассматриваемого региона. Процесс формирования карбона-

тов носил циклический характер и продолжался достаточно продолжительное время. Даты начала и окончания этих циклов совпадают с основными фазами тектонической активности региона.

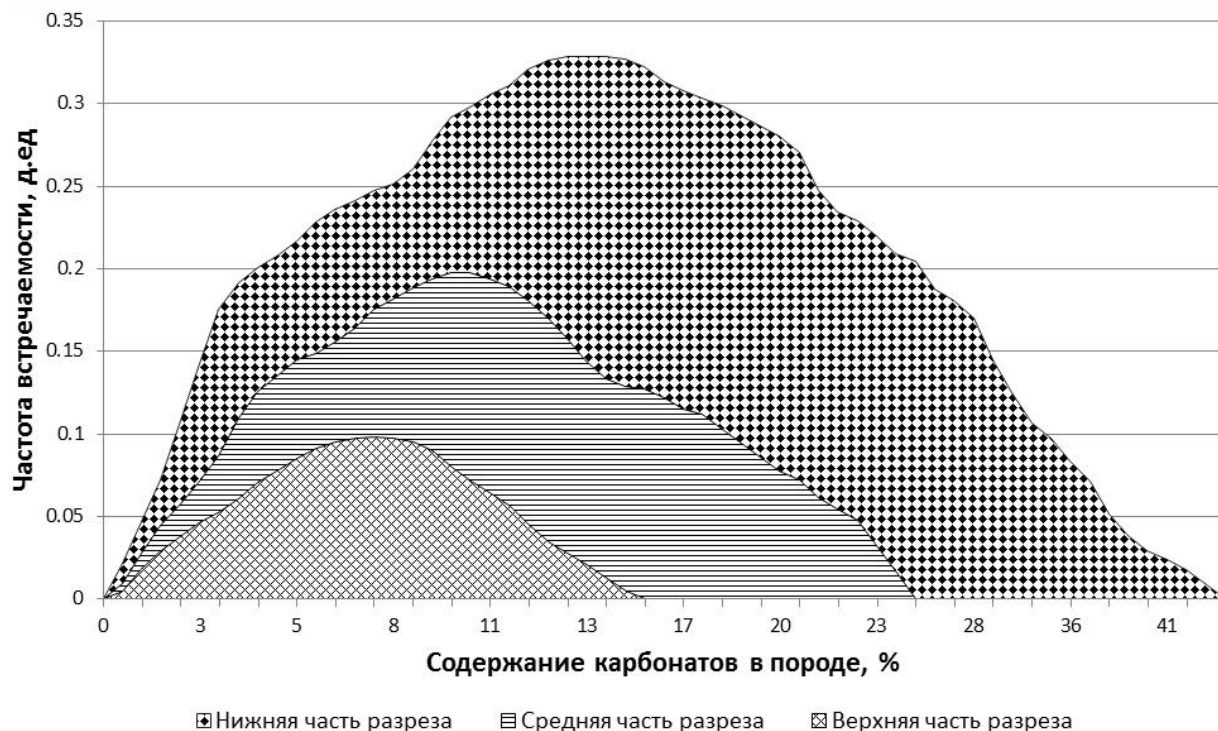


Рис. 6. Изменение содержания карбонатов по разрезу в породах-коллекторах Восточно-Мессояхского, Чатылькинського, Новопортовского и Новогоднего месторождений

Выщелачивание

Рассматривая процессы выщелачивания как часть орогенического цикла Уилсона, связанного с эволюцией Западно-Сибирской плиты, работами ряда авторов [14, 15] доказано крайне неравномерное развитие процессов гидротермального метасоматоза в осадочных породах Западно-Сибирской плиты. В наиболее активных зонах миграции флюидов осадочные породы могут полностью терять свои первичные вещественные и структурно-текстурные признаки с образованием новых генетических типов пород – метасоматитов. В более спокойных флюидоактивных зонах осадочные породы, как правило, сохраняют свои структурно-текстурные признаки, но при этом идет процесс изменения порового пространства с образованием новых минеральных видов, не характерных для неизмененных пород-коллекторов. Зоны флюидомиграции тесно связаны с процессами конвективного прогрева бассейнов осадконакопления [16]. Вследствие такого прогрева возникают обширные зоны гидротермально проработанных пород-коллекторов, содержащих залежи нефти и газа. В таких зонах установлена прямая генетическая связь между рифтогенезом, вызывающим вторичные изменения пород-коллекторов, и возникновением осадочных бассейнов.

Всю территорию Западно-Сибирской плиты можно условно поделить на тектонически активные и малоактивные зоны. В тектонически активных зонах при

активизации гидротермальных растворов происходит растворение калиевых полевых шпатов с образованием пустот, которые заполняются глинистым или глинисто-карбонатным цементом. Также часто происходит выщелачивание плагиоклазов с образованием вторичной альбитовой минерализации. В ходе этого процесса возникают каверны неправильной формы, в которых образуется аутигенный каолинит. Исследования показали, что для такого рода процессов необходимо наличие геодинамической аномалии, которая способствовала бы созданию и поддержанию проточной системы с постоянно обновляемыми под действием SO_2 и CO_2 кислыми водами [17]. Под действием таких постоянно циркулирующих высокотемпературных растворов в породах-коллекторах происходит постепенная замена терригенной минеральной ассоциации на гидротермальную. В тектонически малоактивных зонах в процессе изменения пород-коллекторов происходит регенерация плагиоклазов с образованием регенерированных обломочных зерен, что обусловлено конвективным теплопереносом [18]. Для нормально протекания этого процесса необходимыми условиями являются высокая активность натрия в гидротермальных растворах и масштабные флюидоперетоки. В настоящее время наиболее масштабные вертикальные и горизонтальные флюидоперетоки осуществляются преимущественно в полосе тектонически активных зон, где роль дизъюнктивных нарушений как транзитной зоны таких флюидоперетоков крайне высока.

Особенности процесса выщелачивания были рассмотрены на примере *Крапивинского и Западно-Лугинецкого месторождений*. Выбор этих объектов обусловлен тем, что на них широко развиты процессы выщелачивания пород-коллекторов, причем в пределах Крапивинского месторождения они выражены очень сильно и эту зону Каймысовского свода можно отнести к тектонически активным зонам. На Западно-Лугинецком месторождении процессы выщелачивания менее выражены, и этот район Лугинецкого куполовидного поднятия можно отнести к тектонически малоактивным зонам. Проведенный седиментологический анализ показал, что продуктивные пласты Крапивинского и Западно-Лугинецкого месторождений образовались в морских условиях, для которых характерно повсеместное (покровное) развитие. В толще отмечается регрессивный комплекс мелко-водно-морских фаций от дальней и переходной зон пляжа до нижнего и верхнего пляжа со следами частичного осушения в верхней части толщи.

Породы-коллекторы, подвергшиеся процессу выщелачивания, значительно улучшают свои коллекторские свойства. Это хорошо видно на примере Крапивинского месторождения, где продуктивные пласты, не подвергшиеся процессу вторичного преобразования, имеют среднюю пористость около 14% и проницаемость от $0,8 \cdot 10^{-3}$ мкм². В проработанных зонах пористость увеличивается в среднем до 21%, а проницаемость до 1,0 мкм². Это происходит за счет значительного увеличения объема пустого порового пространства, которое образуется при растворении зерен калиевого полевого шпата и кварца (рис. 7). Кроме этого, коллекторские свойства пород-коллекторов улучшаются за счет образования зон разуплотнения, что свидетельствует о наличии зон тектонического напряжения в районе. Для разуплотненных зон характерно большое количество регенерационного кварца, сформированного при распределении вещества от растворения обломочных зерен под давлением, скрепляющего каркас породы и препятствующего дальнейшему уплотнению [19]. По мнению автора, наиболее вероятной причиной контрастных проявлений процессов порового выщелачивания являются многочисленные малоамплитудные дизъюнктивные нарушения – зоны деструкции, выделенные на Крапивинском месторождении. По ним шло поступление глубинных агрессивных растворов. Формирование пород-коллекторов в тектонически активных зонах связано со стадиями седименто- и катагенеза, где существенную роль играл подток вещества по разломам.

Для районов, где тектоническая активность была не такой сильной, для пород-коллекторов характерно изменение отдельных зерен с образованием регенерационного плагиоклаза и кварца, хорошо раскристаллизованного каолинита, который благодаря своей пористой структуре не всегда снижает коллекторские свойства породы [20]. Следует отметить, что каолинит не контролируется первичными факторами – сортировкой и медианным диаметром, однако его количество значительно меньше в породах с первичным глинистым цементом. Доля измененных зерен в шли-

фах может достигать 40% и сильно зависит от глубины залегания пласта. Если в шлифах диагностировать процесс выщелачивания или вторичного минералообразования достаточно легко, то на макроуровне в керне это увидеть весьма проблематично.



Рис. 7. Песчаник среднезернистый с зонами уплотнения и разуплотнения. Вид – в проходящем свете, увеличение 100×. Крапивинское месторождение, скв. X. Пласт Ю₁³

В зонах с активной тектонической обстановкой компоненты CO₂ и SO₂, поступающие в том или ином объеме в продуктивные пласты, сильно понижают pH среды и увеличивают кислотность растворов. При изменении этих показателей происходят регенерация зерен кварца и растворение калиевого полевого шпата, кристаллизуется поровый каолинит. На фоне постоянной циркуляции высокотемпературных кислых гидротермальных растворов происходило формирование окончательного состава цемента пород-коллекторов. Такая стадийность очень схожа с процессом карбонизации, который также протекает при кислых условиях среды. В зонах с малоактивной тектонической деятельностью процесс проработки пород-коллекторов сильно избирателен и охватывает не всю продуктивную толщу, а только обломки зерен кварца и кислых плагиоклазов. Это связано с заметным меньшим объемом привноса активных компонентов по зонам разломов, а в большей степени – с флюидной фазой, генерируемой самими породами. Еще одним условием протекания такого избирательного процесса является высокая активность натрия в гидротермальных растворах.

Методы выделения зон вторичных изменений пород-коллекторов

Главным источником информации о наличии вторичных изменений пород-коллекторов является керновый материал. При его изучении уже на стадии поисково-оценочного и разведочного бурения можно достаточно достоверно говорить об основных типах вторичных изменений, их интенсивности и влиянии на все последующие технологические процессы, которые будут происходить на месторождении в процессе его разработки.

Зоны цеолитизации достаточно четко определяют при макрокопическом изучении зерна и шлифов, если содержание цеолитов в породе превышает первые проценты. Принимая во внимание тот факт, что цеолитовая минерализация на всех рассматриваемых месторождениях четко приурочена к определенному стратиграфическому горизонту (продуктивные отложения суходудинской, заполярной и мегийской свит), то процесс диагностики ее наличия не вызывает больших затруднений. Прямые признаки цеолитовой минерализации данными ГИС не определяются, однако известно, что цеолитсодержащие породы характеризуются гораздо большими значениями критических сопротивлений. В этом случае в петрофизическую модель необходимо вносить поправки на содержание цеолитов.

Основная масса карбонатов содержится в виде базального цемента, где размер зерен карбонатов крайне редко превышает первые доли миллиметра, поэтому их качественная диагностика возможна только при микрокопическом изучении шлифов. Крайне редко карбонатная минерализация может встречаться в виде отдельных линз мощностью до 1 см, тогда ее можно диагностировать непосредственно при макрокопическом описании зерна. Карбонатные минералы достаточно четко определяются по данным ГИС. Это происходит при использовании методов удельного электрического сопротивления (УЭС) и радиоактивного каротажа (НКТ и ГК), когда карбонатная минерализация четко фиксируется при максимальных значениях УЭС и НКТ и минимальных значениях ГК.

Пласты, подвергшиеся процессу выщелачивания, достаточно четко и уверенно диагностируются при микрокопическом изучении шлифов, где они проявляются в виде стилолитовых швов и зон разуплотнения. При определении наличия вторичных эпигенетических процессов предлагается использовать метод корреляционного анализа, в основе которого лежит идея дифференциации интегрального теплового нейтронного поля в песчанике в зависимости от концентраций железа и бора. Этот метод позволяет опре-

делять их относительную концентрацию (макрокопическое сечение поглощения тепловых нейтронов (МСП), калий и кремний) после калибровки используемого алгоритма по средним содержаниям химических элементов в породах-коллекторах Западно-Сибирской плиты и основных продуктивных горизонтах [21]. Коэффициент корреляции между результатами лабораторного нейтронно-активационного анализа пород-коллекторов и программным определением относительного содержания железа – более 0,85, калия – более 0,63. В результате программного корреляционного анализа данных элементов МСП с общей пористостью и электрическим сопротивлением пласта определяют интервалы, обусловленные ярко выраженными процессами наложенного эпигенеза.

Заключение

В результате изучения кернового материала нескольких месторождений нефти и газа были выделены и описаны основные типы вторичных изменений, характерные для пород-коллекторов Западно-Сибирской плиты, показано, что они могут носить площадной характер, а их максимальные концентрации четко приурочены к тектонически активным зонам. Предложен механизм формирования разных типов вторичных изменений и их влияния на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов, определены основные условия осадконакопления, характерные для рассматриваемых месторождений, и показана зависимость типа вторичных парагенезисов от состава гидротермальных растворов и условий среды. Найдена зависимость содержания вторичных минералов от количества пустотного пространства в песчано-алевритовом каркасе пород-коллекторов. Описаны основные критерии выделения зон вторичных пород-коллекторов разного типа и основные методы исследований, которые с наибольшей достоверностью диагностируют минеральные ассоциации, характерные для того или иного типа вторичных изменений пород-коллекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидротермальные процессы в шеркалинской пачке Талинского месторождения (Западная Сибирь) / М.Ю. Зубков [и др.] // Литология и полезные ископаемые. 1991. № 3. С. 122–132.
2. Предтеченская Е.А., Бурлева О.В. Катагенетические аномалии в юрских нефтегазоносных отложениях Томской области как индикаторы дизъюнктивных нарушений // Геологическое строение и нефтегазоносность отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область) : сб. тр. науч.-практ. конф. Томск : Изд-во ТО ФГУП СНИИГГиМС, 2006. С. 77–90.
3. Предтеченская Е.А., Фомичев А.С. Катагенетические преобразования ниже-среднеюрских отложений севера Западной Сибири // Материалы 7-го Уральского литологического совещания «Литологические аспекты геологии слоистых сред». Екатеринбург : ИГГ УРО РАН, 2006. С. 214–217.
4. Предтеченская Е.А. Катагенетические изменения ниже-среднеюрских отложений на территории Томской области // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Томск : ГалаПресс, 2000. С. 192–193.
5. Поднебесных А.В., Кузнецов С.В., Овчинников В.П. Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов на территории Западно-Сибирской плиты // Известия вузов. Нефть и газ. 2015. № 2. С. 26–30.
6. Коробов А.Д., Коробова Л.А., Ахлестина Е.Ф. Минеральные ассоциации продуктов гидротермального изменения – ключ к пониманию возникновения зон разуплотнения и фазовой зональности углеводородов (на примере Западной Сибири) // Известия Саратовского университета. 2008. Т. 8, вып. 1. С. 42–50.
7. Поспелов В.В. Некоторые особенности разработки залежей нефти в цеолитсодержащих породах фундамента // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 1–16.
8. Ван А.В., Предтеченская Е.А. Диагностика вулканокластического материала по продуктам его изменения // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах : сб. тр. науч.-практ. конф. Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 83–85.
9. Кольцова Т.Н. Анализ структур цеолитов с общей формулой $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ // Неорганические материалы. 2007. Т. 43, № 2. С. 218–226.

10. Поднебесных А.В., Овчинников В.П. Проблемы диагностики цеолитов и влияние их наличия на разработку продуктивных отложений Мессояхской группы месторождений // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 324, № 1: Науки о Земле. С. 137–145.
11. Поднебесных А.В., Жуковская Е.А., Овчинников В.П. Цеолиты нижнемеловых коллекторов Мессояхской группы месторождений (Западная Сибирь) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2014. № 3. С. 32–39.
12. Поднебесных А.В. Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов и их влияние на разработку месторождений // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири : материалы 2-й науч.-практ. конф. / отв. ред. С.П. Зайцев. Новосибирск : СНИИГГиМС, 2015. Т. 2. С. 101–103.
13. Коробов А.Д., Коробова Л.А., Киняева С.И. Гидротермальные процессы в палеорифтах Западной Сибири и их роль в формировании жильных ловушек УВ доюрского основания Шаимского района // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 12. С. 63–72.
14. Предтеченская Е.А., Шиганова О.В., Фомичев А.С. Катагенетические и гидрохимические аномалии в ниже-среднеюрских нефтегазоносных отложениях Западной Сибири как индикаторы флюидодинамических процессов в зонах дизъюнктивных нарушений // Литосфера. 2009. № 6. С. 54–65.
15. Зубков М.Ю., Дворак С.В., Чухланцева В.Я. Гидротермальные процессы в шеркалинской пачке Таллинского месторождения (Западная Сибирь) // Литология и полезные ископаемые. 1991. № 3. С. 122–132.
16. Хаин В.Е., Соколов Б.А. Рифтогенез и нефтегазоносность: основные проблемы // Рифтогенез и нефтегазоносность. М. : Наука, 1993. С. 5–16.
17. Коробов А.Д., Коробова Л.А., Колотухин А.Т., Мухин В.М., Гордина Р.И. Об участии рассолов в гидротермальной альбитизации, сопровождающей формирование продуктивных коллекторов чехла (Западная Сибирь) // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 61–68.
18. Коробов А.Д., Коробова Л.А. Пульсирующий стресс как отражение тектоно-гидротермальной активизации и его роль в формировании продуктивных коллекторов чехла (на примере Западной Сибири) // Геология, геофизика, разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 6. С. 4–12.
19. Жуковская Е.А., Кравченко Г.Г. Влияние вторичных изменений на коллекторские свойства верхнеюрских продуктивных отложений Крапивинского месторождения // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316, № 1: Науки о Земле. С. 93–98.
20. Чернышов А.И., Краснощечкова Л.А. Петроструктурный анализ кварца нефтенасыщенных песчаников васюганской свиты (на примере месторождений Томской области) // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 331. С. 219–223.
21. Мельник И.А. Выделение нефтенасыщенных интервалов на основе переинтерпретации ГИС в низкоомных коллекторах-песчаниках // Нефтяное хозяйство. 2008. № 4. С. 34–36.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 26 ноября 2015 г.

THE MAIN TYPES OF SECONDARY ALTERATION OF ROCKS OF THE SEDIMENTARY COVER OF THE WEST SIBERIAN PLATE

Tomsk State University Journal, 2015, 400, 393–403. DOI: 10.17223/15617793/400/60

Podnebesnykh Aleksander V. LLC "STC Oilteam" (Sochi, Russian Federation). E-mail: fish1977@inbox.ru

Ovchinnikov Vasily P. Tyumen State Architectural University (Tyumen, Russian Federation). E-mail: burenieOVP@rambler.ru

Keywords: zeolites; carbonates; leaching; secondary mineralogenesis; collector.

The paper focuses on the main types of secondary alteration of reservoir formations, which were described and divided into the types according to core material of some oil and gas fields in Western Siberian Plate. By the results of the studies, we could choose areas, where processes of secondary alterations were carried quite significantly and the results of it looked more clearly. Using core data, the main sedimentation conditions were found based on sedimentological modeling. Also the typical geological conditions were identified, which are characterized by forming of the different types of secondary alterations, predominant paragenesis and its structure, environment conditions and stages of minerogenesis. Due to each selected type of secondary alterations, the formation mechanism was proposed, the confinedness of maximum changes zones to fixed facies was found out; such facies are characterized by limits of reservoir properties changes. It was found that maximum catagenetic anomalies can occupy sufficiently large areas, although in general the areas are expressly confined to tectonically active areas, where change of secondary paragenesis composition can be observed vertically depending on distance from basement rock, also dependence of secondary paragenesis composition on hydrothermal fluids and environment conditions was featured. For each selected type of secondary alterations methods were described which can identify the presence of secondary mineralization to a high degree of accuracy on the basis of the information available to evaluate its potential impact on the overall development of the field. Zeolitization zones are quite confidently found by core data, carbonized interlayers by methods of electrical resistivity and radioactivity logging, leaching areas by forming of areas with stilolites and decompression zones. The result of integrating data is sedimentation models and secondary alterations reservoirs maps, which are basis of 3D models. Due to that we could localize areas with better reservoir properties to a high degree of accuracy and identify lithologically changed hydrocarbon traps. Further, proposed methods can be used in the design of geological exploration, complicated by secondary alterations.

REFERENCES

1. Zubkov, M.Yu. et al. (1991) Gidrotermal'nye protsessy v sherkalinskoy pachke Talinskogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir') [Hydrothermal processes in Sherkalinsk unit of Talin deposit (Western Siberia)]. *Litologiya i poleznyye iskopaemye*. 3. pp. 122–132.
2. Predtechenskaya, E.A. & Burleva, O.V. (2006) [Catagenetic anomalies in the Jurassic oil and gas deposits of Tomsk Oblast as indicators of disjunctive dislocations]. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' otlozheniy yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast')* [Geological structure and oil and gas deposits of the south-east of the West Siberian Plain (Tomsk Oblast)]. Proceedings of the scientific-practical conference. Tomsk: Izd-vo TO FGUP SNIIGGiMS. pp. 77–90. (In Russian).
3. Predtechenskaya, E.A. & Fomichev, A.S. (2006) [Catagenetic transformations of the Lower Middle Jurassic deposits of the north of Western Siberia]. *Litologicheskie aspekty geologii sloistyykh sred* [Lithology aspects of geology layered rocks]. Proceedings of 7 Ural lithological meeting. Ekaterinburg: IGG URO RAN. pp. 214–217. (In Russian).
4. Predtechenskaya, E.A. (2000) [Catagenetic changes of the Lower-Middle Jurassic deposits in Tomsk Oblast]. Proceedings of the regional conference of geologists of Siberia, the Far East and North-East of Russia. Tomsk: GalaPress. pp. 192–193. (In Russian).

5. Podnebesnykh, A.V., Kuznetsov, S.V. & Ovchinnikov, V.P. (2015) The basic types of secondary changes in reservoir rocks in the territory of the West Siberia plate. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz – Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*. 2. pp. 26–30. (In Russian).
6. Korobov, A.D., Korobova, L.A. & Akhlestina, E.F. (2008) Mineral'nye assotsiatsii produktov gidrotermal'nogo izmeneniya – klyuch k ponimaniyu vozniknoveniya zon razuplotneniya i fazovoy zonal'nosti uglevodorodov (na primere Zapadnoy Sibiri) [Mineral associations of hydrothermal change products: the key to understanding the emergence of hydrocarbons zones of decompression and phase zoning (by example of Western Siberia)]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta*. 8:1. pp. 42–50.
7. Pospelov, V.V. (2008) Nekotorye osobennosti razrabotki zalezhey nefti v tseolitsoderzhashchikh porodakh fundamenta [Some features of the development of oil deposits in zeolite-containing basement rocks]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 3. pp. 1–16.
8. Van, A.V. & Predtechenskaya, E.A. (2012) [Diagnosis of volcanoclastic material by its product changes]. *Diagnostika vulkanogennykh produktov v osadochnykh tolshchakh* [Diagnostics of volcanic products in sedimentary rocks]. Proceedings of the scientific-practical conference. Syktyvkar: IG Komi NTs UrO RAN. pp. 83–85. (In Russian).
9. Kol'tsova, T.N. (2007) Analiz struktur tseolotov s obshchey formuloy $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [Analysis of the structures of zeolites with the general formula $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$]. *Neorganicheskie materialy*. 43:2. pp. 218–226.
10. Podnebesnykh, A.V. & Ovchinnikov, V.P. (2014) The problems of zeolites detection and their influence on development of the productive reservoirs in the Messoyakha group of fields. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 324:1. pp. 137–145. (In Russian).
11. Podnebesnykh, A.V., Zhukovskaya, E.A. & Ovchinnikov, V.P. (2014) Zeolities of Lower Cretaceous reservoirs of Messoyakha group fields (West Siberia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz – Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*. 3. pp. 32–39. (In Russian).
12. Podnebesnykh, A.V. (2015) Osnovnye tipy vtorichnykh izmeneniy porod-kollektorov i ikh vliyanie na razrabotku mestorozhdeniy [The main types of secondary changes of reservoir rocks and their impact on the development of fields]. *Geologiya, geofizika i mineral'noe syr'e Sibiri* [Geology, geophysics and mineral resources of Siberia]. Proceedings of the 2nd scientific-practical conference. V. 2. Novosibirsk: SNIIGiMS. pp. 101–103. (In Russian).
13. Korobov, A.D., Korobova, L.A. & Kinyaeva, S.I. (2004) Gidrotermal'nye protsessy v paleoriftakh Zapadnoy Sibiri i ikh rol' v formirovanii zhil'nykh lozuskh UV doyrskogo osnovaniya Shaimskogo rayona [Hydrothermal processes in paleorifts of Western Siberia and their role in the formation of hydrocarbon veined traps of the pre-Jurassic base of the Shaim District]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 12. pp. 63–72.
14. Predtechenskaya, E.A., Shiganova, O.V. & Fomichev, A.S. (2009) Catagenetic and hydrochemical anomalies in Lower-Middle Jurassic oil-and-gas bearing deposits in West Siberia as indicators of fluid-dynamic processes in disjunctive dislocation zones. *Litosfera – Lithosphere*. 6. pp. 54–65. (In Russian).
15. Zubkov, M.Yu., Dvorak, S.V. & Chukhlantseva, V.Ya. (1991) Gidrotermal'nye protsessy v sherkalinskoy pachke Talinskogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir') [Hydrothermal processes in Sherkalinsk unit of Talin deposit (Western Siberia)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 3. pp. 122–132.
16. Khain, V.E. & Sokolov, B.A. (1993) Riftogenez i neftegazonosnost': osnovnye problemy [Rifting and oil and gas: the main problems]. In: *Riftogenez i neftegazonosnost'* [Rifting and oil and gas]. Moscow: Nauka.
17. Korobov, A.D. et al. (2013) Brine Contribution to Hydrothermal Albitization Concomitant to Productive Reservoir Formation within the Cover (West Siberia). *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Nov. ser. Nauki o Zemle*. 13:2. pp. 61–68. (In Russian).
18. Korobov, A.D. & Korobova, L.A. (2011) Pul'siruyushchiy stress kak otrazhenie tektono-gidrotermal'noy aktivizatsii i ego rol' v formirovanii produktivnykh kollektorov chekhla (na primere Zapadnoy Sibiri) [Pulsating stress as reflected tectonic-hydrothermal activation, and its role in the formation of productive cover reservoirs (by example of Western Siberia)]. *Geologiya, geofizika, razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 6. pp. 4–12.
19. Zhukovskaya, E.A. & Kravchenko, G.G. (2010) Vliyanie vtorichnykh izmeneniy na kollektorskie svoystva verkhneyurskikh produktivnykh otlozheniy Krapivinskogo mestorozhdeniya [Effect of secondary changes on the reservoir properties of Upper Jurassic productive deposits of the Krapivinskoye deposit]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 316:1. pp. 93–98.
20. Chernyshov, A.I. & Krasnoshchekova, L.A. (2010) Petrostructural quartz analysis of Vasyugan suite sandstones (Tomsk region deposit). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 331. pp. 219–223. (In Russian).
21. Mel'nik, I.A. (2008) Identification of oil-saturated intervals based on GIS reinterpretation in the low-resistivity sandstone reservoirs. *Neftyanoe khozyaystvo*. 4. pp. 34–36.

Received: 26 November 2015