

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МИНИСТЕРСТВО НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

553.98:552

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

315

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1972

УДК 552.14.553.983

Постседиментационные преобразования пород-коллекторов.
Изд-во "Наука", М., 1972, 1-90

В монографии рассмотрены постседиментационные структурно-минеральные преобразования в терригенных и карбонатных коллекторах каменноугольного возраста Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Определено влияние различных постседиментационных процессов на структуру порового пространства коллекторов. Установлено относительное время миграции нефти в пласт-коллектор, а также связь между растворением цементирующих минералов и окислением и осернением нефти. Издание рассчитано на петрографов, геохимиков, геологов-нефтяников, исследователей практиков.

Табл.7, иллюстраций 36, библиогр. 138 назв.

Монография написана коллективом авторов в следующем составе: К.Р.Чепиков, Е.П.Ермолова, **Н.А.Орлова**, Г.И.Суркова.

Ответственный редактор

чл.-корр. АН СССР К.Р.ЧЕПИКОВ

2-9-2
654-72



Постседиментационные преобразования осадочных пород и насыщающих их жидких и газообразных фаз в своих проявлениях весьма многообразны и являются неисчерпаемой темой для исследователей различного профиля.

Изменения осадков и осадочных пород, особенно минералообразующие процессы, издавна привлекали внимание исследователей. В отечественной литературе первые высказывания об аутигенных минералах и последовательности их образования в песчаниках относятся ко времени, когда начали применять микроскопический метод исследования в осадочной петрографии (Иностранцев, 1877; Миклухо-Маклай, 1887; Радкевич, 1891; Лучицкий, 1901; Дубянский, 1905 и др.). Несколько позднее А.Д.Архангельский (1912) четко разграничил процессы, протекавшие в осадках, и преобразования, происходившие в породах. Начиная с работы А.Д.Архангельского в науку прочно вошло разделение аутигенных минералов на две группы: первичных, образовавшихся в осадках, и вторичных, выделившихся уже в осадочной породе. Углубляя работы А.Д.Архангельского, А.Е.Ферсман (1922) дал стройную картину формирования и существования осадочной породы. Им впервые выделены стадии сингенеза, диагенеза, катагенеза и гипергенеза. Схема А.Е.Ферсмана сохранила свое значение и в настоящее время. Все последующие известные нам схемы отличаются от нее лишь названием стадий и некоторым изменением положения границ между ними. Начиная с 30-х годов XX в. и особенно в последнее время появилось много работ, посвященных общим вопросам образования и преобразования осадочных пород с выделением соответствующих стадий или зон, а также детальных исследований, рассматривающих отдельные стороны процесса осадочного породообразования (Пустовалов, 1933, 1940, 1956; Швецов, 1934, 1948, 1958, 1962; Миропольский, 1935, 1954; Преображенский, 1941; Теодорович, 1946, 1950, 1958, 1963; Логвиненко, 1951, 1965, 1968; Вассоевич, 1952, 1962; Страхов, 1953, 1956а, 1960; Рухин, 1953, 1956; Ермолова, 1953, 1956; Коссовская, Шутов, 1955, 1963; Абрамова, 1956; Головенок, 1957; Хворова, 1958; Копелинович, 1958, 1965; Перельман, 1959; Страхов и др., 1959; Страхов, Логвиненко, 1959; Шутов, 1960, 1962; Аммосов, 1961; Перозио, 1960, 1964, 1966; Гмид, 1962; Коссовская, 1962; Муравьев, 1962; Тимофеева 1963; Чичуа, 1966; Гирин, 1967 и др.).

Каждая из приведенных работ вносила новое в учение о постседиментационных процессах, углубляя и расширяя научное представление

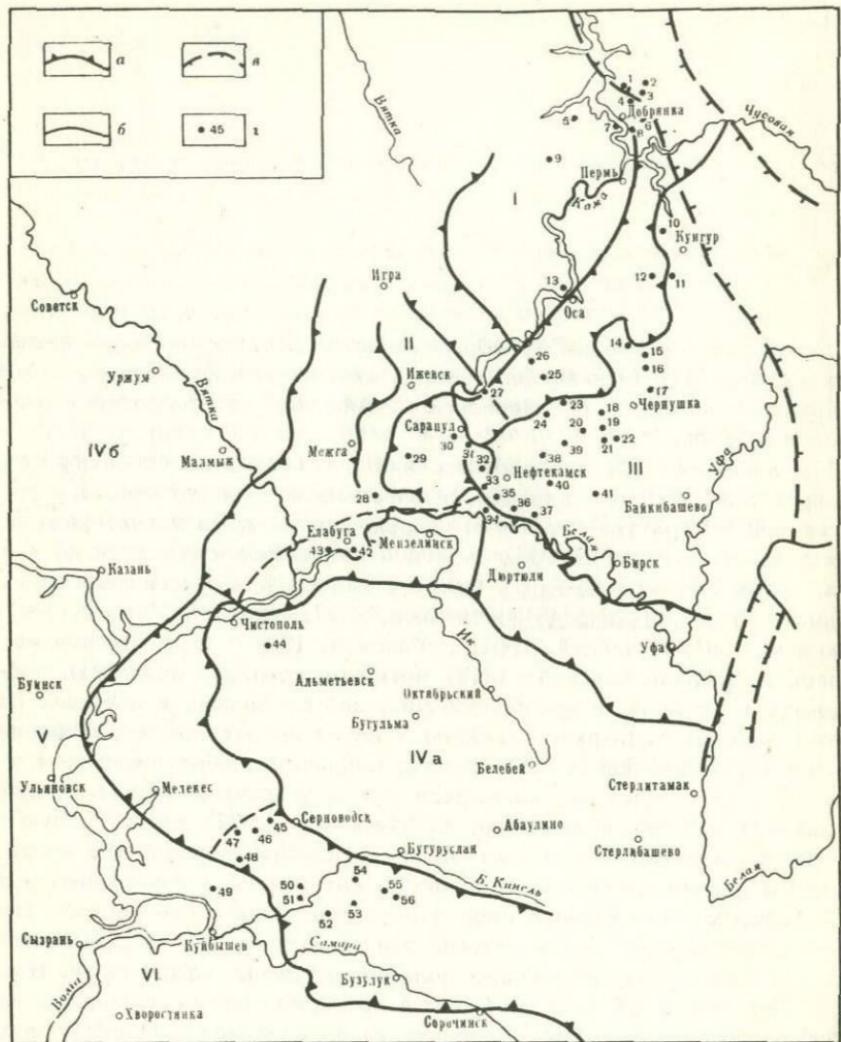


Рис. 1. Схематическая карта Волго-Уральской области с указанием пунктов сбора образцов

Своды: I - Пермский; II - Удмуртский; III - Башкирский; IV - Татарский (IVa - Южная вершина; IVb - Северная вершина); V - Токмовский; VI - Жигулевско-Пугачевский. Границы: а - Камско-Кишельской системы прогибов; б - условные межпрогибные; в - Предуральского прогиба; г - структуры (местоположение пунктов сбора образцов):
 1 - Луховская, 2 - Таежная, 3 - Кухтымская, 4 - Северояринская,
 5 - Васильевская, 6 - Каменноложская, 7 - Межевская, 8 - Талицкая,
 9 - Долгановская, 10 - Кыласовская, 11 - Веслянская, 12 - Мазунинская,
 13 - Осинская, 14 - Асольская, 15 - Таныпская, 16 - Березовская,
 17 - Павловская, 18 - Куединская, 19 - Югомашевская,

как об условиях формирования осадочных пород, так и об условиях их бытия в различных геологических обстановках. Однако многое еще остается неясным. В частности, весьма слабо изучена история постседиментационных преобразований карбонатных отложений.

В области геологии нефти результаты исследования постседиментационных процессов в нефтесодержащих отложениях широко используются для выяснения их влияния на формирование структуры и объема порового пространства коллекторов, что имеет значение для их промышленной оценки. Начиная с 1958 г. (К.Р.Чепиков, Е.П.Ермолова, Н.А.Орлова, Г.Н.Перозио, Г.Э.Прозорович, З.Л.Валоженич) проводится изучение морфологических соотношений нефти с аутигенными минералами, последовательность кристаллизации которых установлена и позволяет определить, в какой момент постседиментационной истории породы-коллектора произошло его заполнение нефтью. Кроме того, выявляется характер взаимодействия нефти с вмещающими породами.

Рассмотрение постседиментационных преобразований терригенных и карбонатных коллекторов имело целью осветить ряд вопросов, связанных с формированием их коллекторских свойств и с миграцией нефти в пласт.

Из всего многообразия постседиментационных преобразований терригенных коллекторов в работе особо рассмотрены следующие явления: аутигенное минералообразование и формирование структуры песчаников и алевролитов, обусловленное воздействием геостатического давления и химизмом насыщавших их жидкых и газообразных флюидов, а также взаимодействие нефти с отдельными компонентами вмещающих пород. При исследовании карбонатных коллекторов основное внимание было обращено на процессы аутигенного минералообразования, перекристаллизации и растворения карбонатного материала.

Поскольку изученные терригенные и карбонатные породы весьма слабо дислоцированы, из рассмотрения исключается вопрос о роли фактора динамометаморфизма в постседиментационных процессах.

Параллельное изучение близких по возрасту терригенных и карбонатных коллекторов одного и того же нефтеносного региона позволило наряду с неизбежными различиями, связанными с исходным составом породообразующих компонентов, установить в них общую направленность процессов аутигенного минералообразования.

-
- 20 - Четырманская, 21 - Тепликовская, 22 - Казанчи-Шавьядинская,
23 - Гожанская, 24 - Москудынская, 25 - Шалымская, 26 - Малоу-
синская, 27 - Шумовская, 28 - Казаковская, 29 - Киясовская, 30 -
Сарапульская, 31 - Тарасовская, 32 - Вятская, 33 - Касевская, 34 -
Саузбашевская, 35 - Арланская, 36 - Уртаульская, 37 - Новохазин-
ская, 38 - Южно-Аникеевская, 39 - Игровская, 40 - Орьебашевская,
41 - Кузбаевская, 42 - Елабужская, 43 - Мурзихинская, 44 - Ново-
Ибраикинская, 45 - Радаевская, 46 - Малиновская, 47 - Горькоовраж-
ская, 48 - Раковская, 49 - Красноярская, 50 - Мухановская, 51 - Дмит-
риевская, 52 - Марьевско-Михайловская, 53 - Коханская, 54 - Яblo-
невская, 55 - Городецкая, 56 - Жуковская

Для исследования постседиментационных преобразований и диагностики минералов применялись обычные в петрографии осадочных пород макро- и микроскопические методы, а также рентгеноструктурный, термический и электрономикроскопический анализы. Некоторой особенностью методики исследования было насыщение пористых разностей образцов бакелитовой смолой без нарушения их структуры. В результате пропитки образцов бакелитом контуры зерен кварца и других минералов в шлифах становились более четкими. При этом отчетливо были видны характер укладки обломочного материала, а также форма и распределение пустот в породе, что облегчало их изучение и подсчет значений эффективной пористости.

Объектом исследования послужили терригенные и карбонатные отложения нижнего и среднего карбона, являющиеся вместе с тем прошлыми скоплениями нефти на территории Куйбышевского Заволжья, северных и северо-западных районов Башкирии, северо-восточной части Татарии, юга Удмуртии и Пермской области. Географическое размещение пунктов отбора кернового материала дано на карте (рис.1). Тектоническая схема, приведенная на карте, составлена группой сотрудников под руководством М.Ф.Мирчинка (1965). Многие из рассмотренных структур приурочены к Камско-Кинельской впадине или краевым частям сводов, сопряженных с впадиной.

Монография помимо введения и заключения состоит из четырех разделов. Авторами первого раздела являются К.Р.Чепиков, Е.П.Ермолова и Н.А.Орлова; второй раздел написан Г.И.Сурковой. В составлении последних двух разделов, а также введения и заключения принимали участие все авторы.

Считаем своим приятным долгом выразить признательность доктору геол.-мин. наук Л.А.Гуляевой, кандидату геол.-мин. наук В.Г.Глазер за ценные советы и помощь при разработке темы; петрографам из Камского филиала ВНИГНИ Н.А.Коротаевой, В.Н.Тихомировой, В.Е.Мокшаковой и В.Н.Шароновой, любезно предоставившим нам некоторые материалы, а также старшему лаборанту К.С.Червонцевой, участвовавшей в сборе и аналитической обработке кернового материала.

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Краткие литолого-стратиграфические сведения

Терригенная толща нижнего карбона залегает между фаунистически охарактеризованными известняками тульского горизонта и известняками, включающими фауну кизеловского возраста, и относится к нижневизайскому подъярусу. Литолого-фациальная характеристика терригенной толщи, стратиграфическая полнота и мощность ее разреза находятся в зависимости от структурного положения (в различных частях Камско-Кинельской впадины или за ее пределами). Наиболее полные разрезы терригенной толщи и большие мощности наблюдаются в осевой части Камско-Кинельской впадины.

В целом в строении терригенной толщи принимают участие аргиллиты, глины, кварцевые алевролиты и песчаники и переходные разности между перечисленными породами в различных сочетаниях. Реже в разрезах толщи отмечаются отдельные прослои известняков, сидеритов, сидеритизированных доломитов, углей и углисто-глинистых сланцев.

Для терригенной толщи характерно частое переслаивание разных типов пород, быстрое фациальное замещение и большая изменчивость их мощностей.

Нет необходимости останавливаться на подробной литолого-стратиграфической и литолого-фациальной характеристике терригенной толщи нижнего карбона рассматриваемой территории, так как эти вопросы довольно подробно освещены в ряде опубликованных работ, являющихся результатами многолетних исследований (Марковский, 1955; Познер, 1957, 1959; Грачевский, 1957; Фадеев, 1959; Аprodова, 1959; Аширов, 1959; Виссарионова, 1959; Лобов, Дубинин и др., 1960; Мирчиник и др., 1965; Теодорович и др., 1958, 1962; Надежкин, Стрельникова, 1962; Фролов, Надежкин, 1962; Абрикосов, 1963; Шаронов, Ларионова, 1963; Раузер-Черноусова и др., 1967 и др.).

Продуктивные песчаные и алевритовые пласти на исследуемой территории приурочены к верхней части малиновского надгоризонта (радаевский горизонт¹), к бобриковскому и к нижней части тульского горизонта, составляющих ясонополянский надгоризонт.

В толще радаевского горизонта, преимущественно глинистой, они образуют маломощные прослои. В отложениях бобриковского горизонта преобладают пористые разности песчаников. В нижней части туль-

¹ Отложения радаевского горизонта встречены только в осевой части Камско-Кинельской впадины.

ского, в бобриковском и радаевском горизонтах установлены на разных промысловых площадях от двух до восьми продуктивных нефтенасыщенных пластов. Основными коллекторами нефти являются неглинистые или слабоглинистые разности песчаников.

Продуктивные песчаники мономинеральные, кварцевые, мелко-, средне-, реже крупнозернистые. В разрезах Куйбышевского Заволжья и Пермской области отмечена тенденция к увеличению размера обломочных зерен песчаных пород снизу вверх. В песчаниках северных районов Башкирии преобладает мелкозернистая фракция, а увеличение размера обломков происходит в противоположном направлении (сверху вниз). Основным цементирующим материалом неглинистых разностей песчаников, имеющим региональное распространение, является кварц, хотя его содержание в породе чаще всего незначительно. Сравнительно широко распространены такие цементирующие минералы, как кальцит, доломит, ангидрит, редко встречаются пирит, сидерит, анкерит и др.

Мощности песчаных и алевритовых коллекторов нижнего карбона колеблются в широких пределах и совпадают с изменениями мощностей терригенної толщи в целом. Суммарные мощности продуктивных пластов изменяются от 15 до 150 м. Максимальные суммарные мощности песчаных коллекторов наблюдаются в осевой части Камско-Кинельской впадины Куйбышевского Заволжья. При этом отдельные пласты пористых песчаников достигают 70–80 м (Мухановское месторождение).

Палеогеографическая обстановка формирования терригенної толщи на изученной территории для отдельных горизонтов довольно разнообразна. В малиновское время накопление терригенных осадков шло в морских, лагунных или в опресненных прибрежно-морских условиях. Позднее, в бобриковское время, а на отдельных площадях – и в начале тулинского времени, осадки накапливались в основном в прибрежно-континентальных и континентальных (аллювиальных, дельтовых и озерно-болотных) обстановках.

Глубина залегания песчаных и алевритовых коллекторов в зависимости от положения их на разных тектонических структурах 1 порядка колеблется от 950 до 2400 м. Обращает на себя внимание сильное погружение песчаных пластов на сравнительно небольшом расстоянии, наблюдаемое в Куйбышевском Заволжье (Сергиевский нефтяной район – 1800–1800 м, Кинель-Черкасский – 2025–2400 м). Большой диапазон глубин залегания одновозрастных песчаных пород, иногда превышающий 1000 м, дает возможность выяснить влияние геостатического давления на их постседиментационные преобразования.

Характеристика аутигенных минералов

В неглинистых разностях песчаников и алевролитов постоянно новообразования представлены антазом, сидеритом, каолинитом, кварцем, пиритом, сфалеритом, анкеритом, доломитом, кальцитом, баритом, ангидритом, гипсом. Аутигенные минералы описаны в порядке их образования.

Анатаз в песчаниках довольно обычен и встречается в виде мелких рассеянных в породе кристалликов (размером $<0,03$ мм) или их небольших мутноватых агрегатов. Иногда агрегаты состоят из лейкоксенового вещества, анатаза и пирита. При значительно развитых регенерационных оболочках кварца анатаз оказывается включенным в них.

Основным источником титана для новообразованного анатаза, по-видимому, послужил титан, привнесенный с суши в осадок вместе с глинистыми компонентами. В осадках, обогащенных органическим веществом, в стадии диагенеза устанавливались сильно восстановительная обстановка и низкие значения pH , необходимые для образования легко-растворимых соединений титана низших степеней окисления (TiO , Ti_2O_3) (Полынов, Тумилович, 1936; Ренгартен, 1955). Следует отметить, что глинистые породы по всему разрезу нижнекаменноугольной терригенной толщи содержат большое количество органического материала. Эти растворенные глинистые соединения проникали в вышележащие проницаемые пески посредством диффузии или в процессе частичного выплавления иловых вод из глинистых осадков, только начинавших уплотняться.

В проницаемых песчаных осадках более длительное время, чем в глинистых, сохранялись кислородный режим или хотя бы слабо восстановительные или нейтральные условия и среда с $pH > 3$, благоприятные для кристаллизации анатаза, являющегося труднорастворимым титанистым соединением высшей степени окисления.

Помимо глинистых осадков возможен и другой источник титана. Образование анатаза в агрегатах, если исходить из их состава (лейкоксен, анатаз, пирит), по-видимому, связано с разложением обломков ильменита и преобразованием лейкоксена.

Сидерит в рассматриваемых типах песчаников редок. Встречается в виде мелких кристалликов или сферолитовых стяжений. Кристаллики сидерита или равномерно рассеяны по породе, или сосредотачиваются около пигментированных органическим веществом глинистых микропластиков, иногда пронизывающих пористые песчаники. В сферолитовые стяжения сидерита включены разобщенные зерна кварца, имеющие часто те же размеры и форму, что и зерна за пределами стяжений. Изредка в песчаниках мелко-, иногда среднекристаллический сидерит отмечается в виде цемента базально-порового типа.

Отсутствие регенерационных нарастаний на зернах кварца внутри сидеритовых стяжений позволяет думать о более раннем выделении сидерита по сравнению с аутигенным кварцем. Об этом можно судить также и по включениям мельчайших кристалликов сидерита в кварцевых вторичных оболочках. Однако были встречены единичные образцы (на структурах Таежной, Луховской и Михайловской), где сидеритовый цемент мелко-, реже среднекристаллической структуры включал зерна кварца, имевшие между собой слияние контакты, и кристаллы сидерита контактировали с вторичными оболочками кварца. Все это говорит о том, что образование сидерита в пористых песчаных пластах началось до процесса регенерации кварцевых обломков, а в отдельных случаях и несколько позднее, когда зерна кварца уже были в какой-то степени регенерированы.

Каолинит в неглинитых разностях песчаников обычно отмечается в редких порах. Он имеет ясночешуйчатое агрегатное, редко вермикулитоподобное строение. Такая структура и отсутствие пигментирующего органического вещества позволяют считать каолинит новообразованным минералом, который хорошо отличается от терригенного каолинита, характеризующегося весьма тонкой дисперсностью и пигментацией органическим веществом. Аутигенный каолинит широко распространен в алевролитах. В сильно окварцованных алевролитах хорошо видно "запечатывание" в порах регенерационным кварцем агрегатов аутигенного каолинита. Кварц и каолинит образуются в несколько сходной по щелочности среде, что дает возможность предполагать формирование рассматриваемых минералов в один и тот же этап диагенеза осадков. Учитывая, что аутигенный кварц как бы запечатывает каолинит в порах, можно предполагать, что образование ясночешуйчатого каолинита происходило до начала процесса регенерации кварцевых обломков.

Кварц в песчаниках и алевролитах нижнего карбона обнаруживался почти постоянно и всегда в виде регенерационных оболочек на обломочных кварцевых зернах. Содержание регенерационного кварца в песчаниках и алевролитах колеблется в широких пределах. Для сравнения интенсивности окварцевания в породах нами была принята следующая ориентировочная шкала степени окварцованных песчаников и алевролитов: "отсутствует", "следы", "заметное", "значительное", "полное окварцевание". Все эти градации морфологически сравнительно легко различаются под микроскопом. В песчаниках, где аутигенный кварц отмечен в виде следов, зерна имеют не всегда заметные, слабо выраженные прямолинейные контуры и мелкие, нечетко выраженные вторичные зубцы. О присутствии аутигенного кварца здесь иногда можно судить лишь по сливным контактам между обломками. Песчаники с заметным окварцеванием имеют на зернах хорошо выраженные грани, придающие зернам гексагональный облик, довольно широкие регенерационные оболочки и отчетливо выраженные грани пирамид. В песчаниках со значительным окварцеванием наблюдается сильное разрастание вторичных оболочек на обломочных зернах; песчаники приобретают пониженную пористость и по структуре приближаются к кварцитовидным разностям. При полном разрастании кварцевых зерен структура песчаников и алевролитов становится непроницаемой кварцитовидной. На рис. 2-5 отражена разная степень окварцевания песчаных и алевритовых пород. Дать цифровую оценку регенерационному кварцу почти невозможно. В большинстве случаев трудно отграничить новообразованный кварц от обломочного из-за чистой поверхности обломков кварца.

Неодинаковая окварцованныность песчаных и алевритовых пород проявлялась в пределах плоскости шлифа, пласти или разреза и особенно четко проявлялась при сравнении пород разного гранулометрического состава.

Из табл.1 видно, как при переходе от крупнозернистых к мелко-зернистым разностям песчаников и к алевролитам увеличивается процент образцов, содержащих все большее количество регенерационного кварца.

В табл.2 показано распределение аутигенного кварца в терригенных

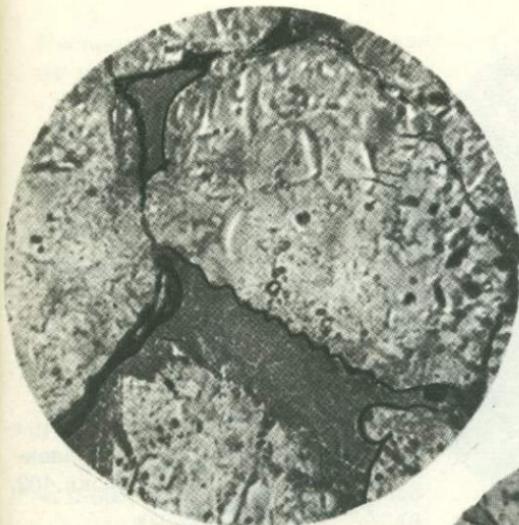


Рис.2. Аутигенный кварц в виде слабо выраженных зубчатых разрастаний на кварцевых зернах песчаника (поры заполнены бакелитом).
 C_1 , Муханово, скв.24, гл. 2080–2086 м

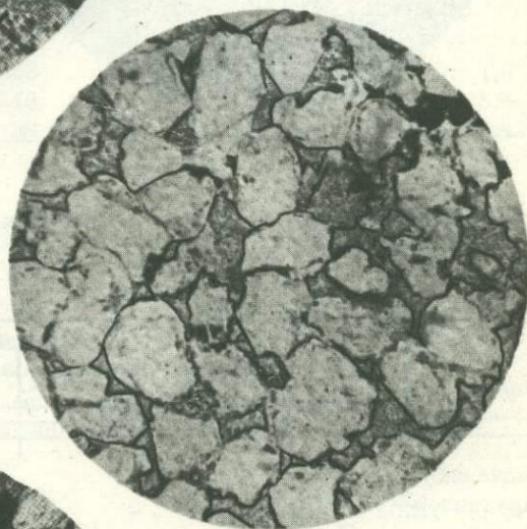


Рис.3. Заметная степень регенерации кварцевых обломков в песчанике с кальцитовым цементом. C_1 , Таныш, скв.4, гл. 1459–1464 м



Рис.4. Значительное окварцевание в мелкоэзернистом песчанике. C_1 , Арлан, скв. 61, гл. 1262–1268 м



Рис.5. Кварцитовидная структура крупнозернистого алевролита. С1, Коханы, скв.402, гл.2284-2294 м

Таблица 1

Содержание аутигенного кварца в песчаниках и алевролитах
нижнего карбона

Породы	Число образцов	Окварцевание					отсутствует
		полное	значительное	заметное	следы		
		Число образцов песчаников и алевролитов, %					
Песчаники							
крупнозернистые	5	-	-	-	-	20	80
среднезернистые	95	-	10,52	28,42	46,33	14,73	
мелкозернистые (0,18-0,25 мм)	144	-	15,97	40,98	27,08	15,97	
мелкозернистые (0,1-0,18 мм)	200	1,5	39,0	39,5	18,5	1,5	
Алевролиты	38	34,21	31,57	21,07	2,63	10,52	

Таблица 2

Распределение аутигенного кварца в зависимости от глубины залегания пористых песчаников нижнего карбона

Глуби- на за- лега- ния, м	Породы	Число образ- цов	Окварцевание				
			полное	значи- тельное	замет- ное	следы	отсутст- вует
Число образцов песчаников и алевро- литов, %							
	Песчаники						
< 1500	средне- и круп- нозернистые	19	-	5,2	10,5	57,9	26,4
	мелкозернистые	54	-	9,2	24,1	31,5	35,2
	мелкозернистые алевритистые	53	-	51,0	24,5	22,6	1,9
	Алевролиты	13	46,2	7,7	23,0	7,7	15,4
	Всего	139	4,32	24,46	22,30	29,50	19,42
1500- 1700	Песчаники						
	средне- и круп- нозернистые	21	-	19,1	23,8	33,3	23,8
	мелкозернистые	35	-	11,4	51,5	31,4	5,7
	мелкозернистые алевритистые	66	3,1	31,8	40,8	21,2	3,1
	Алевролиты	7	71,4	14,3	14,3	-	-
> 1700	Всего	129	5,42	23,25	39,53	24,80	7,0
	Песчаники						
	средне- и круп- нозернистые	62	-	6,4	32,3	50,0	11,3
	мелкозернистые	70	-	14,3	58,5	24,3	2,9
	мелкозернистые алевритистые	86	2,3	41,8	39,6	12,8	3,5
	Алевролиты	14	28,6	28,6	35,7	-	7,1
	Всего	232	2,59	23,28	43,10	25,48	5,6

породах разного гранулометрического состава, залегающих на разных глубинах. Независимо от глубины залегания терригенных пород большая степень окварцевания в основном отмечалась у алевролитов и мелкозернистых песчаников. Между содержанием аутигенного кварца в породах и глубинами их залегания четкой зависимости не обнаруживалось.

При анализе колебаний степени окварцованных песчаных пород, слагающих отдельные разрезы терригенных отложений нижнего карбона (рис.6-9), особенно при сопоставлении разрезов терригенной толщи на разных глубинах залегания, получался аналогичный вывод. Измене-

МИХАЙЛОВКА, скв. 21

ДМИТРИЕВКА, скв. 21

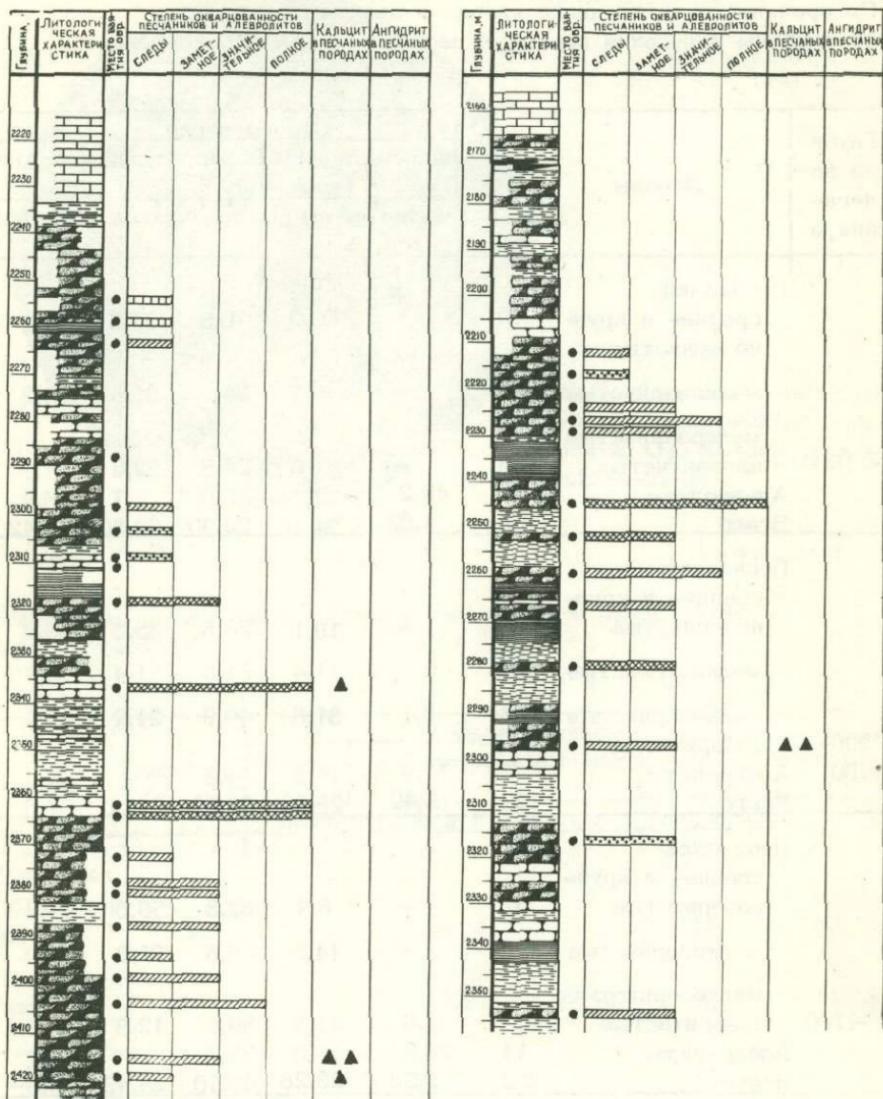
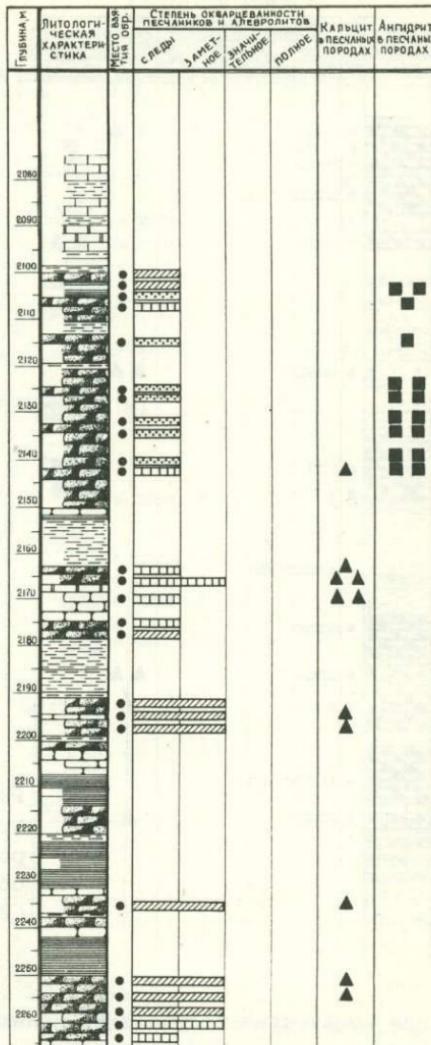
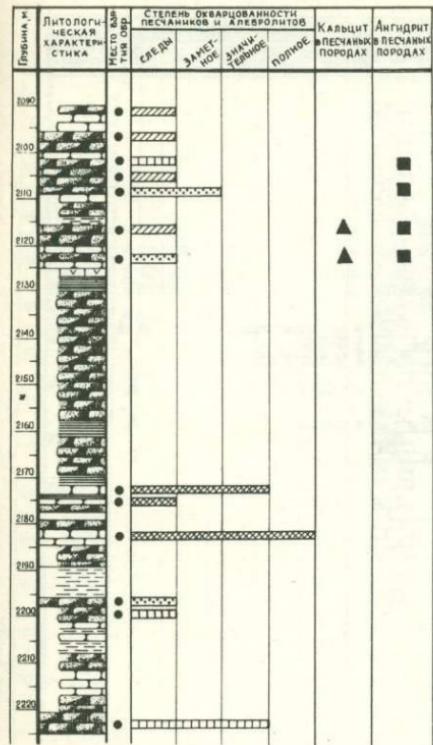


Рис.6. Распределение катагенных минералов в песчаных и алевритовых породах нижнего карбона Куйбышевской области, скв. 28.
 1 - песчаник; 2 - алевролит; 3 - известняк; 4 - доломит; 5 - мергель;
 6 - глина; 7 - аргиллит; 8 - уголь и углистые сланцы; 9 - песчаник со значительным содержанием кальцитового цемента; 10 - то же с не-

МУХАНОВО, скъ. 28

МУХАНОВО, ск. 24



большим содержанием кальцитового цемента; 11 - то же, со значительным содержанием ангидритового цемента; 12 - то же, с небольшим содержанием ангидритового цемента; 13 - песчаники средне- и крупнозернистые; 14 - песчаники мелкозернистые ($0,18$ - $0,25$ мм); 15 - песчаники мелкозернистые алевритовые ($0,08$ - $0,18$ мм); 16 - алевролиты

Горький Овраг, скв. 23

Радаевка, скв. 2

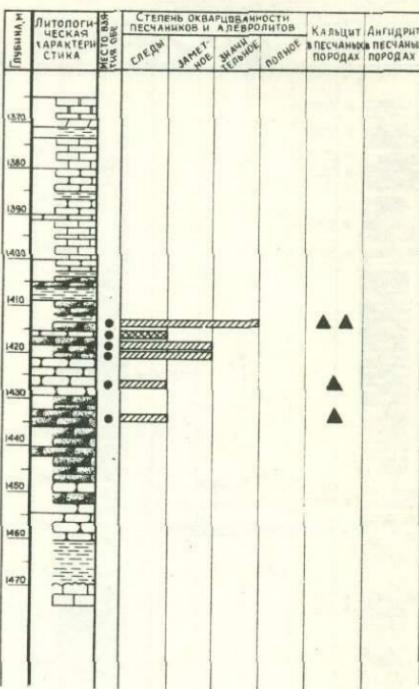
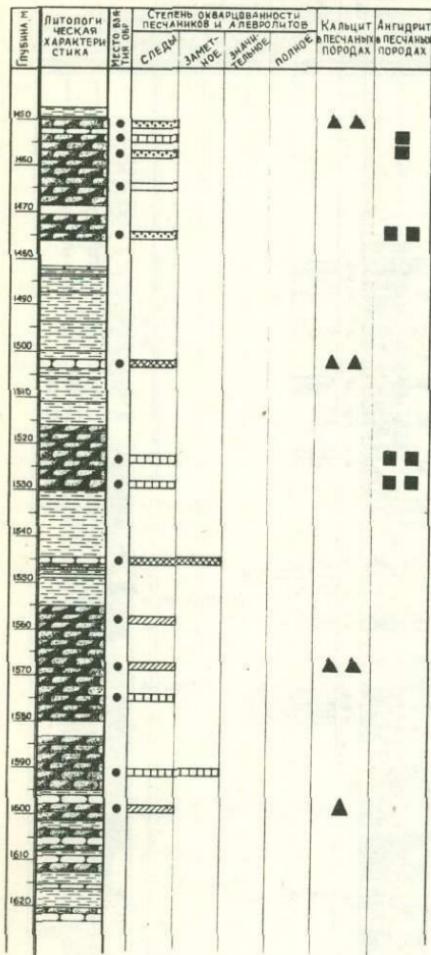


Рис.7. Распределение катагенных минералов в песчаниках и алевролитах нижнего карбона Куйбышевской области.

Обозначения те же, что и на рис.6

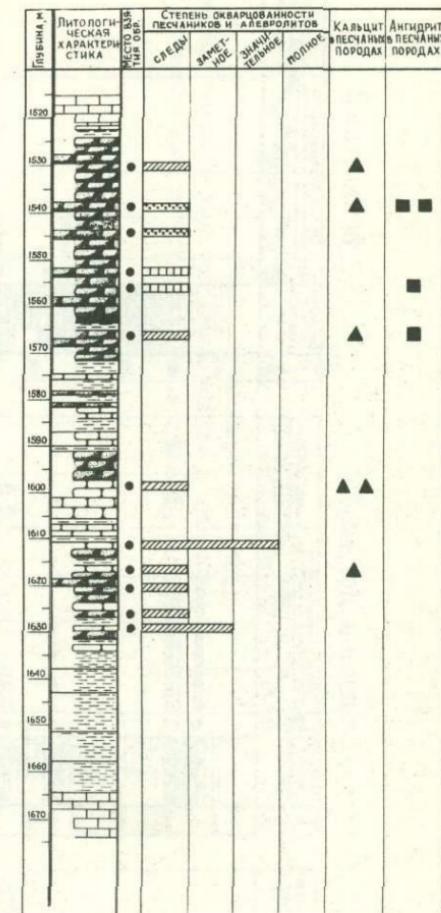
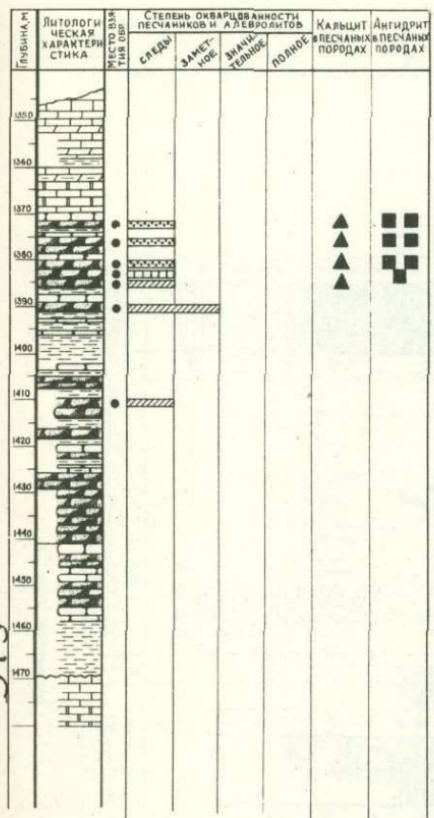
ние количества кварца в песчаниках и алевролитах по разрезу чаще всего обусловлено его гранулометрической характеристикой. Изученным разрезам свойственно малое содержание вторичного кварца. Обращает на себя внимание то, что алевролиты, для которых характерно значительное окварцевание, составляют обычно небольшую часть этих разрезов.

Также отмечена связь между количеством аутигенного кварца в пластах песчаников и мощностью последних. Как правило, более интенсивно окварцованы маломощные песчаные и алевритовые пласти, залегающие среди глинистых пород.

Образование основной массы аутигенного кварца, вероятнее всего, происходило в стадию позднего диагенеза или в начале раннего катагенеза. Такое заключение неново. Известны работы, где приводятся сведения о регенерации кварцевых зерен в песчаных и алевритовых

РАДАЕВКА, скв. 11

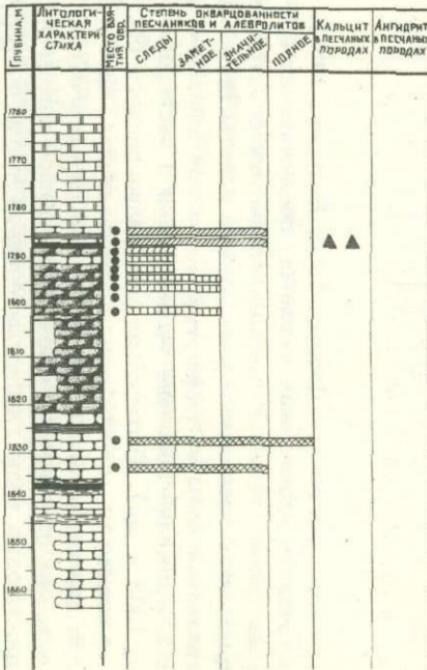
РАКОВКА, скв. 4



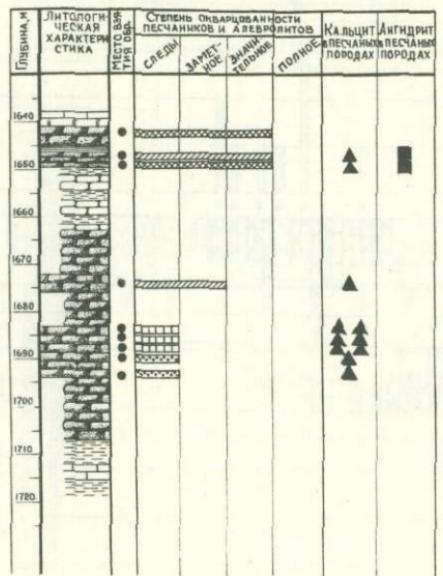
осадках в стадию диагенеза (Дэпплс, 1963; Батурина, 1935). Одним из главных источников кремнезема могли бы послужить иловые воды, вытесненные из более или менее мощных глинистых осадков, подстилающих и покрывающих песчаные и алевритовые пласты. Возможность выжимания связанный воды из глинистых пород под влиянием веса лежащих выше отложений доказана теоретически и экспериментально (Ломтадзе, 1958 и др.). Вытеснение минерализованного раствора из глинистых осадков, по мнению ряда исследователей, происходило в конце стадии диагенеза или в начальный период катагенеза, что совпадает и с нашим определением возраста главной массы регенерационного кварца. Иловые воды глинистых осадков имели повышенное содержание кремнезема, обусловленное растворением и преобразованием различных силикатовых, силикатных и алюмосиликатных компонентов, содержащихся в этих осадках. Процессам растворения и преобразования отдельных кремнийсодержащих компонентов способствовало боль-



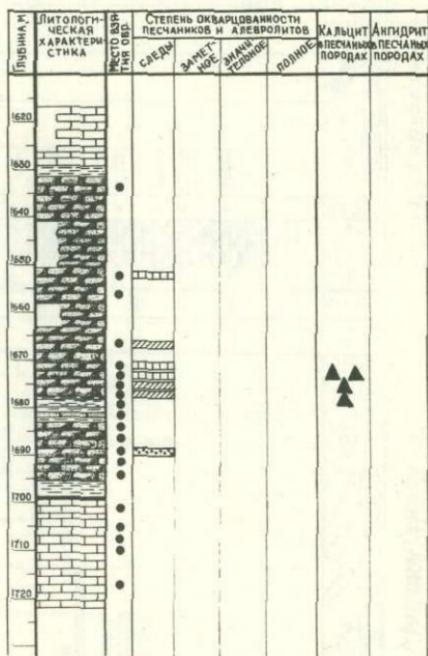
ВАСИЛЬЕВКА, скв. 26



КАМЕННЫЙ ЛОГ, скв. 7



ЯРИНО, скв. 2



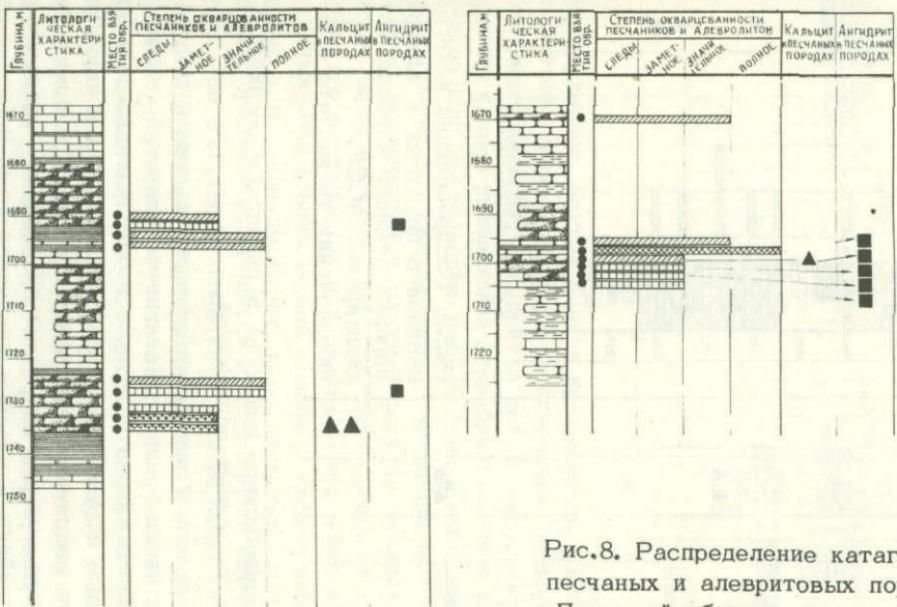


Рис.8. Распределение катагенных минералов в песчаных и алевритовых породах нижнего карбона Пермской области.

Обозначения те же, что и на рис.6

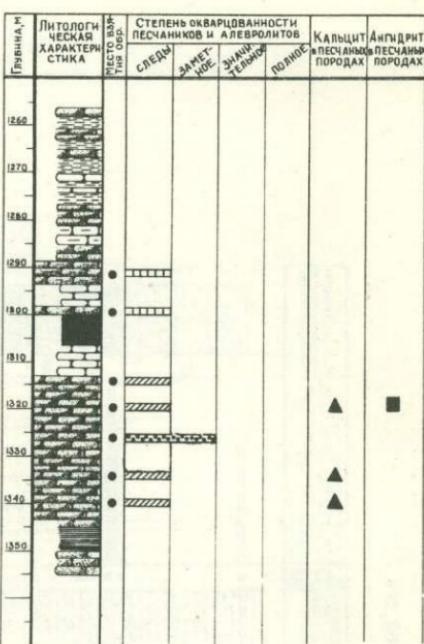
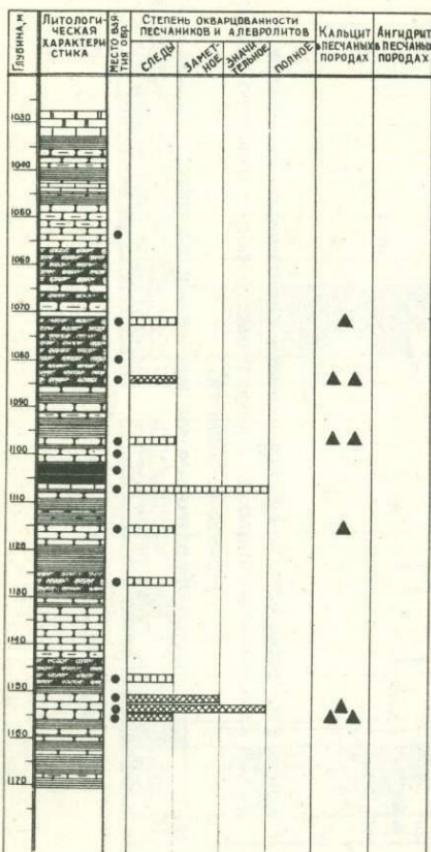


Рис.9. Распределение катагенных минералов в песчаных и алевритовых породах нижнего карбона Татарской Башкирской АССР.

Обозначения те же, что и на рис.6

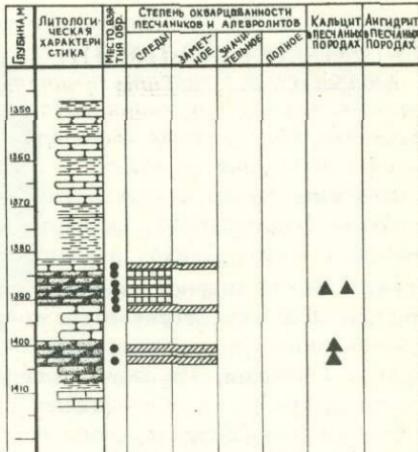
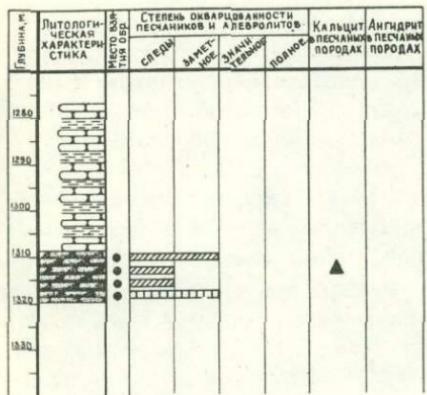
шое количество органического вещества в глинистых осадках, а также жизнедеятельность донных организмов.

Об образовании основной массы аутигенного кварца в стадию позднего диагенеза или начала раннего катагенеза свидетельствуют включения регенерационного кварца не только в явно катагенетические кальцитовые, доломитовые и сульфатные образования, но и в такие более ранние минеральные выделения, как сидерит и пирит, а также явления регенерации обломочных зерен кварца и образование мелких участков кварцитовидной структуры в глинистых разностях песчаных пород. На диагенетическое или раннекатагенетическое происхождение аутигенного кварца указывает характер распределения его количества в зависимости от размера обломочного материала, а также отсутствие связи между глубинами залегания однотипных по гранулометрическому составу песчаных пород и степенью их окварцевания.

В небольшом масштабе регенерация обломков кварца в песчаниках и алевролитах продолжалась и позднее, в течение всего периода катагенеза. Главной причиной такого явления, возможно, является новое

АРЛАН, скв. 136

ЮГОМАШЕВО, скв. 13



перераспределение внутри пласта кремнезема, растворенного вследствие метасоматоза зерен кварца катагенными новообразованиями (кальцит, доломит, анкерит, ангидрит и др.). В результате метасоматического вытеснения кварца указанными новообразованиями в поровый раствор песчаников шло поступление кремнезема. Незначительным дополнительным источником для кварца второй генерации мог послужить также кремнезем, перешедший в поровый раствор вследствие растворения обломочных зерен на контактах при сдавливании на глубине. Образование структур растворения под влиянием нагрузки лежащих выше пород в изученных отложениях имело слабое и неотчетливое развитие.

Сульфиды, в основном пирит, в неглинистых песчаниках и крупно-зернистых пористых алевролитах присутствуют обычно в небольших количествах (до 5%). Пирит отмечался в виде отдельных мелких (до 0,1 мм) кристаллов или их агрегатов различных размеров. Крупные кристаллы пирита образуют цемент пойкилитовой структуры. Пирит корродирует кварцевые зерна вместе с их вторичными оболочками. Иногда его стяжения включают мелкие кварцитовидные участки (рис. 10). Он неоднократно встречается в карбонатном и ангидритовом цементах. Таким образом, образование пирита по времени следовало за образованием кварца и предшествовало выделению карбонатов и ангидрита.

Предполагается, что основным источником образования пирита и причиной возникновения резко восстановительной среды в песчаных породах, необходимой для его осаждения, послужили иловые воды глинистых осадков, выданные в пески в конце стадии диагенеза и несколько позже. Мелкие кристаллы пирита, которые содержались в глинистых пропластках, обогащенных органическим веществом, возникали по времени раньше, чем в неглинистых участках породы.

В нижнекаменноугольных песчаниках Пермской области иногда наблюдалось выделение пирита по окисленной и уже затвердевшей нефти.

В этом случае его образование связано с процессом окисления нефти в нефтеносном песчанике.

Кроме пирита из сульфидов в песчаниках изредка обнаруживались кристаллы сфалерита (рис.11).

Карбонатные минералы представлены кальцитом, доломитом и анкеритом, формы выделения которых сходны. Совместное нахождение различных карбонатных минералов в одних и тех же образцах песчаников обнаружено не было.

Наиболее часто встречается кальцит. Как видно по приводимым разрезам (см.рис.6-9), кальцит можно встретить во всех изученных районах. В песчаниках нижнего карбона юга Пермской области он является почти единственным представителем карбонатной группы минералов. Доломит встречается значительно реже. Анкерит пока конституирован только в разрезах северо-восточной части Пермской области (Ярино, Талицкая, Таежная, Североярино). Следует отметить тенденцию приуроченности образования анкерита к средней и особенно нижней частям разреза бобриковского горизонта. В верхних частях тех же разрезов, как правило, присутствует кальцит.

Карбонатные минералы образуют цемент отдельными участками разных форм и размеров (от включений, заполняющих лишь отдельные поры, до размеров, превышающих площадь шлифа). Тип цемента базально-поровый и поровый, структура пойкилитовая (рис.12).

Кальцитовый, доломитовый и анкеритовый цементы включают зерна кварца в разной степени регенерированные (рис.13). В карбонатном цементе отмечались слияные контакты между кварцевыми зернами и регенерационные грани на отдельных обломках кварца, а также мелкие пятна кварцитовидной структуры. Карбонат с разной интенсивностью корродирует регенерированные зерна кварца, иногда замещая их полностью. Изредка в карбонатный цемент включены образования пирита. В то же время пойкилитовые участки карбонатного цемента встречены в ангидритовом цементе (рис.14). В ряду последовательности образования катагенных минералов кальцит, доломит и анкерит занимают место после кварца и сульфидов и предшествуют ангидриту.

При цементации песчаников карбонатными минералами эти породы, очевидно, залегали на сравнительно больших глубинах. Последнее доказывается плотной укладкой обломочного материала внутри цемента отдельных образцов песчаников, почти аналогичной укладке зерен за пределами скементированных участков, и наблюдавшимися иногда слабыми внедрениями одних зерен кварца в другие.

В тульском горизонте Пермской области встречаются мелкозернистые песчаники с кальцитовым цементом тонко- и мелкокристаллической структуры базального типа, с редкими остатками фауны. Кальцитовый цемент здесь по происхождению является явно седиментационно-диагенетическим и отличается от катагенетического по структуре, наличию фауны и отсутствию регенерированных обломков кварца.

В песчаных породах было констатировано растворение кальцитового цемента. Подробнее об этом явлении и его причинах изложено ниже, в главе о растворении цементирующих минералов.

Источник материала для образования карбонатных минералов (кальцит, доломит, анкерит) остается неясным. Существуют различные мн-

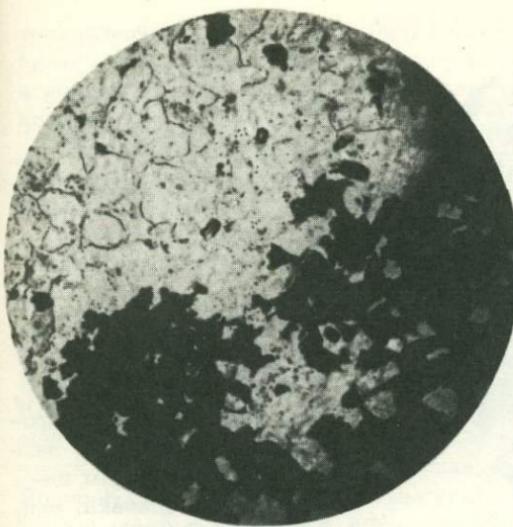


Рис.10. Пирит в сильноокварцованном алевролите.
Видны остатки кварцитовой структуры внутри пирита.
С₁, Михайловка, скв. 21, гл. 2324-2339 м



Рис.11. Сфалерит внутри кальцитового цемента среднезернистого песчаника. С₁, Яблоневка, скв.2, гл.2102-2103 м

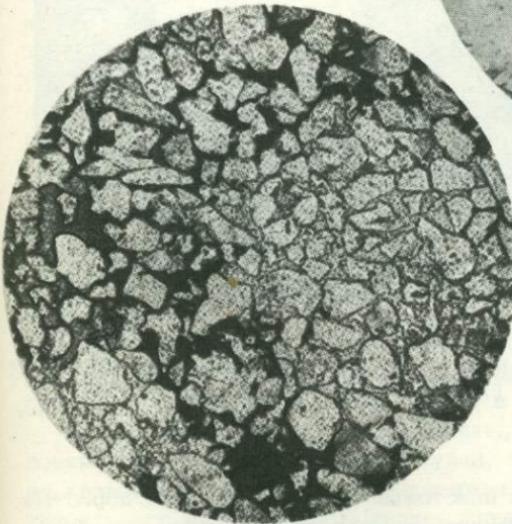


Рис.12. Участки доломитового цемента в пористом нефтеносном песчанике. (Видна одинаковая структура обломочного материала в пористой и скементированной частях породы). С₁, Муханово, скв.16, гл.2131-2133 м

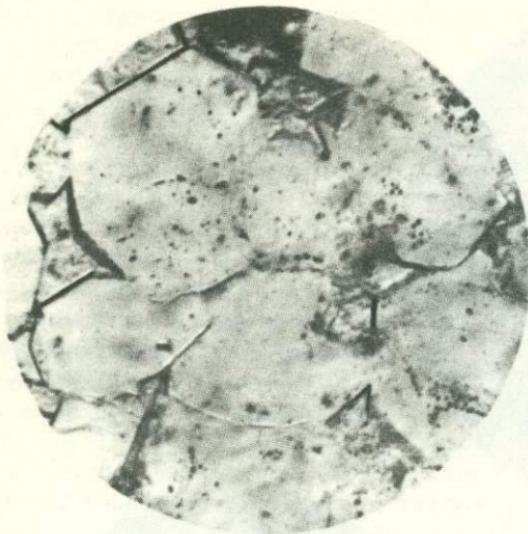


Рис.13. Хорошо регенерированные зерна кварца в песчанике с кальцитовым цементом. С₁, Радаевка, скв. 2, гл. 1413–1419 м

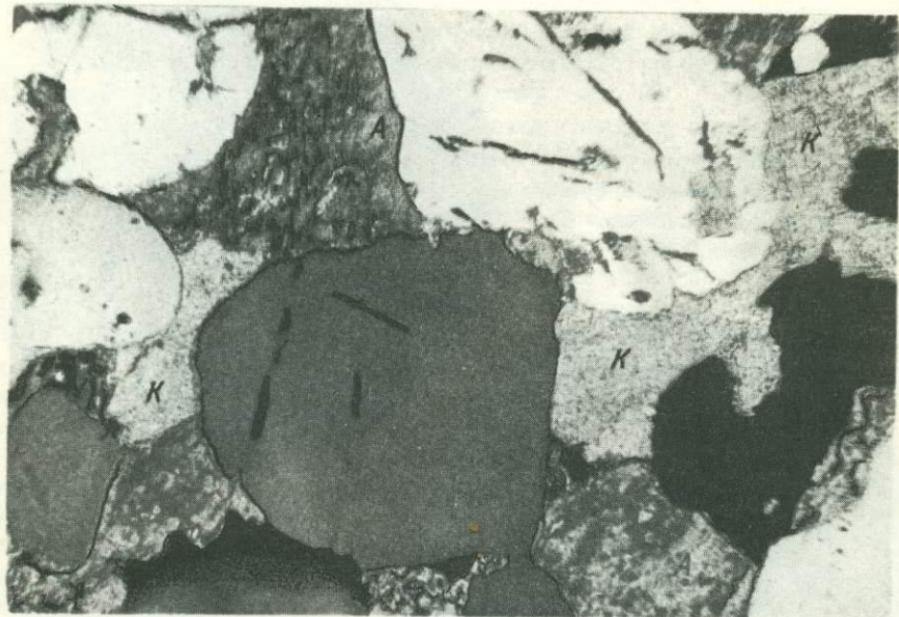


Рис.14. Среднезернистый песчаник с ангидритовым цементом пойкилитовой структуры. Видны более ранние образования кальцита (К), включенные в ангидритовый цемент (А). С₁, Муханово, скв.28, гл. 2117–2122 м

ния о происхождении глубинных пластовых вод, насыщающих пористые породы. Поэтому вопрос об источнике компонентов, шедших на образование карбонатов в песчаных породах нижнего карбона, решается

неоднозначно (Каменский, 1958; Кротова, 1962). Источниками могли быть соли, растворенные или в погребенных седиментационных, или в позднеших инфильтрационных водах, или в водах смешанного происхождения.

Образование крупнокристаллического кальцитового цемента в отдельных случаях, возможно, шло путем перекристаллизации седиментационного кальцита (органогенного и хемогенного).

Минералы группы сульфатов представлены ангидритом, гипсом и баритом. Из перечисленных минералов чаще всего встречается ангидрит.

Ангидрит обнаружен в значительных количествах в песчаных и алевритовых породах нижнего карбона Сергиевского района (Радаевка, Раковка, Горький Овраг, Малиновка), а также на Мухановском и Красноярском месторождениях Куйбышевской области. Несколько в меньшей степени скементированы ангидритом песчаники центральной части Пермской области (Луховская, Кыласовская, Северояринская, Ярино-Каменноложская, Кухтымская).

Ангидрит в изученных образцах обычно отмечается в виде отдельных участков цемента разных размеров, редко в виде сплошного цемента (см.рис.14). Ангидритовые участки большей частью сложены крупными монокристаллами. Реже встречаются агрегаты кристаллов, имеющих вытянутую столбчатую форму. Размеры их варьируют в пределах 0,01–1,00 мм. В песчаниках, в которых наблюдается образование разнокристаллического ангидрита, как правило, присутствует органическое вещество. Причем повышенное содержание органического вещества приурочено к участкам с наиболее мелкими размерами кристаллов ангидрита. Возможно, что присутствие органического вещества в породе замедляло рост кристаллов ангидрита, а его неравномерное распределение в ней приводило к формированию разнокристаллической структуры. Экспериментально доказано влияние органического вещества, растворенного в воде, на характер кристаллизации карбонатов (Алекин и Моричева, 1958). Как видно из наблюдений, тот же вывод о влиянии органического вещества на процесс кристаллизации можно распространить и на ангидрит.

Ангидритовый цемент независимо от размера кристаллов, его слагающих, почти всегда включает зерна кварца, регенерированные в той или иной степени. Это указывает на одновременность образования как мелко-, так и крупнокристаллического ангидрита, происходившего после регенерации обломочного кварцевого материала. В ангидрит нередко включены образования пирита, яснокристаллического кальцита или доломита (см.рис.14). Образование ангидрита из пластовых вод в самую последнюю очередь обусловлено лучшей его растворимостью по сравнению с растворимостью кварца и карбонатов.

Ангидрит так же, как и карбонаты, по-видимому, образуется в условиях сравнительно больших глубин, так как он является последующим за кальцитом, доломитом и анкеритом новообразованием. Внутри ангидритового цемента наблюдались случаи взаимного внедрения отдель-

ных зерен кварца, их дробление, плотная укладка обломочных зерен, что также свидетельствует об образовании ангидрита на глубине.

Генезис ангидрита так же, как и цементирующих карбонатных минералов, в песчаниках связан с пластовыми водами. Независимо от происхождения пластовых вод осаждение ангидрита в проницаемых песчаных слоях происходит при сравнительно высокой минерализации пластовых вод, приближающихся по своему составу к хлор-кальциевому типу (Сулин, 1946; Кузнецов, 1947; Кузнецов, Старкова, 1952; Козин, 1960).

На ряде изученных месторождений (Муханово, Ярино, Радаевка и др.) наблюдались следы растворения ангидритового цемента.

Гипс обнаружен в единичных образцах на Яринском месторождении и на месторождении Ново-Ибраикино.

Структура гипса спутанно-волокнистая или крупно-моноокристаллическая. Волокнистый гипсовый цемент струйчато обтекает обломочные зерна, разъединяя их и не всегда заполняя поры полностью. Песчаники, скементированные волокнистым гипсом, очень рыхлые. Здесь отмечаются редкие и мелкие включения карбоната с явными следами растворения. Образование гипса, как правило, сопровождается замещением ангидрита, о чем свидетельствуют мелкие реликты ангидрита, заключенные в гипсе и имеющие неровные, заливообразные очертания. Одновременное погасание близко расположенных изолированных частей кристалла ангидрита в гипсе свидетельствует о моноокристаллическом строении ангидрита до его замещения гипсом. Кроме того, были встречены образцы с самостоятельным выделением в поровых пространствах крупных кристаллов гипса, образующих пойкилитовый тип цемента. Гипсовый цемент включает обломочный кварцевый материал, в той или иной мере регенерированный. При выяснении времени образования гипса в песчаниках следует принять во внимание замещение гипсом ангидрита, которое позволяет считать гипс более поздним новообразованием.

Барит в песчаниках и алевролитах нижнего карбона обнаружен лишь в мелкозернистых песчаниках с заметным окварцеванием на месторождениях Таныпа и Игровки. Он образует локальный цемент в виде моноокристаллов. Кварцевые зерна внутри баритового цемента иногда имеют отчетливые регенерационные грани. По-видимому, барит, как ангидрит и гипс, является катагенетическим новообразованием.

На основании установленной последовательности образования аутигенных минералов попытаемся наметить основные этапы существования неглинистых песчаников нижнего карбона.

Кварц в ряду последовательности образования аутигенных минералов можно рассматривать пограничным минералом, разделяющим новообразования на диагенетические и катагенетические. Такое разграничение условно и основывается на отличии минералов, выделившихся до кварца (по условиям кристаллизации и по количественному содержанию в

породе), от более поздних новообразований. На образование кварца в конце стадии диагенеза или в начале катагенеза, в частности, указывают, с одной стороны, включения аутигенного кварца в пиритовых кристаллах, формирование которых в неглинистых песчаниках приурочивается к началу стадии катагенеза, и, с другой – нередко наблюдаемое более раннее выделение сидерита по сравнению с образованием кварца. Начало регенерации кварца в конце стадии диагенеза подтверждается тем, что одним из возможных главных источников кремнезема является кремнезем, растворенный в иловой воде глинистых осадков. Считается, что выдавливание основной массы иловой воды глинистых осадков в пористые песчаные породы происходит в конце стадии диагенеза.

Со стадией диагенеза в хорошо проницаемых песчаниках и алевролитах связано образование в небольших количествах некоторых аутигенных минералов: анатаза, сидерита, каблинита. Слабое развитие диагенетических минералов в изученных нами песчаниках объясняется однобразным кварцевым составом обломочного материала, хорошей проницаемостью пород и почти полным отсутствием в них органического вещества, являющегося главным стимулятором минерального преобразования в стадию диагенеза (Страхов, 1956₁). Тем не менее последовательность выделения даже небольшого комплекса минералов отчетливо выражает смену геохимической обстановки осадка. Если образование анатаза происходило в окислительной обстановке, то сидерит уже характеризует слабовосстановительную.

В стадию катагенеза формировался следующий комплекс минералов: кварц, пирит, анкерит, кальцит, доломит, барит, ангидрит, гипс. В нефтеносных песчаных породах к этой стадии приурочивается приход нефти. Образование перечисленных катагенных минералов происходило после того, как выделилась основная масса регенерационного кварца. Последовательное выпадение из раствора катагенных новообразований хорошо совпадает с повышением величины их растворимости и тесно связано с геохимической историей пластовых вод, заключавшейся в постепенном повышении минерализации и изменении солевого состава с течением времени.

Особенностью катагенных минералов является большая продолжительность времени их образования. Одним из показателей замедленности процесса кристаллизации доломита, кальцита, ангидрита и отчасти пирита может служить их крупнокристаллическая пойкилитовая структура. По количественному содержанию катагенные минералы резко превалируют над новообразованиями, возникшими в стадию диагенеза. Катагенные минералы, как правило, являются главными цементирующими минералами неглинистых разностей пород. В отличие от большинства диагенетических новообразований они обычно замещают не только обломочный кварц, но и его регенерационную оболочку. Появление в песчаниках пирита, карбонатов кальция и магния, сульфата кальция не может быть связано с преобразованием обломочного материала, имевшего чисто кварцевый состав.

Сравнительно глубокое залегание изучаемых песчаников (в пределах 900–2400 м), естественно, предполагало влияние геостатического давления на преобразование в них обломочной и цементирующей частей. Однако роль геостатического давления сказалась в образовании более или менее плотной укладки обломочного материала песчаников и в дроблении отдельных зерен кварца. Лишь в породах, залегающих на глубинах выше 2000 м, можно изредка обнаружить внедрение одно в другое зерен кварца. Это дает основание говорить о весьма слабом развитии структур растворения на контактах обломочных зерен в кварцевых песчаниках нижнего карбона, несмотря на их глубокое залегание. Иными словами, метаморфизующие преобразования терригенных компонентов в условиях сравнительно больших глубин не характерны для рассматриваемых песчаников нижнего карбона.

О растворении некоторых цементирующих минералов в продуктивных пластах

Заполнение пласта-коллектора углеводородными флюидами в большинстве случаев сопровождалось изменением направленности последующих катагенетических процессов, обусловленным изменением геохимических свойств вмещающих их пород. В изученных песчаниках были замечены следы взаимного влияния нефти и некоторых аутогенных минералов, которые выразились в растворении ангидритового и кальцитового цементов и в окислении и осернении нефти.

Для песчаников нижнего карбона Волго-Уральской области, как уже упоминалось, довольно обычны ангидритовый и кальцитовый цементы, но содержание их широко варьирует не только в различных скважинах одного месторождения, но и в образцах одной скважины. В песчаниках отдельных месторождений они отсутствуют. Растворение этих цементов проявлялось с разной интенсивностью как в водоносных, так и в нефтеносных породах на многих изученных нефтепромысловых площадях. Следы растворения сульфатов кальция отчетливо прослежены в песчаниках продуктивных пластов нижнего карбона на территории Куйбышевского Заволжья (Красный Яр, Муханово, Горский Овраг, Радаевка, Раковка и др.), в несколько меньшей степени – на территории Пермской области (Ярино, Каменный Лог, Кыласово, Талинская и др.). Растворение кальцитового цемента наблюдалось в песчаниках нижнего карбона целого ряда месторождений Пермской области (Ярино, Быркино, Таныт, Асюль, Кыласово, Васильевка, Мазунино и др.), а также в месторождениях северной части Башкирской АССР (Игровка, Четырман, Татышлы, Югомашево, Тепляки, Арлан). Менее определено можно говорить о растворении кальцитового цемента в песчаниках Куйбышевской области. В песчаниках нижнего карбона Татарской АССР, несмотря на ограниченный объем исследованного материала, было получено много данных, свидетельствующих о растворении кальцитового цемента (Елабуга, Мурзиха, Бурайлинская). Однако доказательств растворения ангидритового цемента мало (Ново-Ибрайкино).

О происходившем растворении кальцитового и ангидритового цементов в песчаниках свидетельствуют корродированные, неровные, извилистые очертания цементированных участков (рис.15,16); остатки ангидрита и кальцита в отдельных коррозионных углублениях зерен кварца и в тупиковых порах. Нередко в песчаниках отмечались разобщенные участки кальцитового цемента, гаснущие одновременно (рис. 17). По-видимому, песчаники в данном месте до растворения имели сплошной кальцитовый цемент пойкилитовой структуры. Однаковая картина корродированности нерегенерированных и регенерированных зерен кварца как в местах, скементированных сульфатами кальция или кальцитом, так и в свободных от цемента пористых участках породы, расположенных по соседству с цементированными, также является подтверждением того, что в пористых участках протекало растворение цементирующего материала (см.рис.12).

Нередко в пористых песчаниках по косвенным данным можно установить, что они были скементированы в прошлом. К числу таких данных относятся: 1) наличие "ситчатых" зерен кварца или зерен с пустотами в середине и с глубокими "заливчиками"; 2) корродированные извилистые очертания регенерационных эболочек зерен кварца в порах; 3) весьма свободная укладка обломочного материала в песчаниках, залегающих на глубинах 1200–2400 м, в сочетании с различной степенью его корродированности (рис.18, а, б). Для сравнения приводится снимок песчаника, характеризующегося плотной укладкой обломочного материала и находящегося в аналогичных глубинных условиях (рис.19). Особенно четко все эти структурные особенности песчаников, указывающие на состоявшееся растворение кальцитового или ангидритового цемента, отмечались в разностях, насыщенных окисленным битумом.

Можно предположить, что песчаники и алевролиты нижнекаменноугольного возраста были первоначально скементированы кальцитом и ангидритом в большей степени, но позднее скементирующие минералы подверглись значительному растворению.

Рассмотрим теперь причины выщелачивания указанных цементов. Как известно, процесс восстановления растворенного сульфата кальция в присутствии органического вещества широко распространен. Выщелачивание сульфатного (ангидритового) цемента в песчаных коллекторах было обусловлено появлением в них нефти и углеводородных газов, которые способствовали восстановлению сульфатных ионов в пластовых водах, и последние становились недонасыщенными указанными ионами. Растворение твердых сульфатов кальция (ангидрит, гипс) и десульфирование вод являются процессами, до некоторой степени взаимно обусловленными. Если в осадке или в породе содержится сульфат кальция в виде твердого субстрата, то будет происходить его растворение иловыми или пластовыми водами до тех пор, пока твердые сульфаты кальция полностью не перейдут в раствор при условии, что непрерывно будет идти и процесс десульфирования вод, насыщающих осадки или породы. О влиянии твердых сульфатов кальция в породах на содержание сульфат-ионов в водах, а тем самым и на интенсивность процессов



Рис.15. Коррозия ангидритового цемента в битуминозном песчанике.
 C_1 , Радаевка, скв.11, гл.1373–1386 м

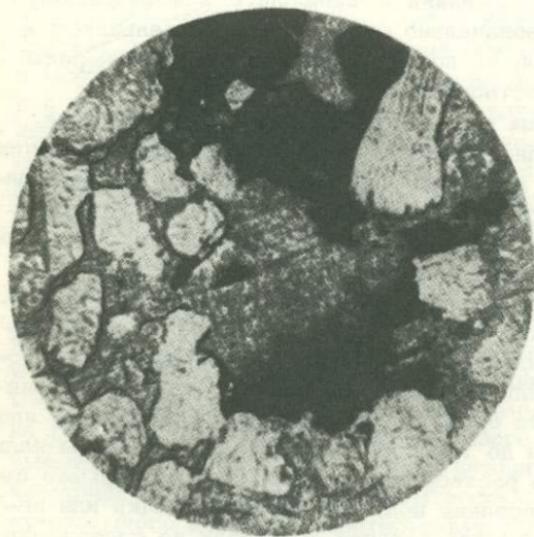


Рис.16. Коррозия карбонатного цемента в битуминозных участках песчаника. C_1
Муханово, скв.38, гл.2246–
2251 м

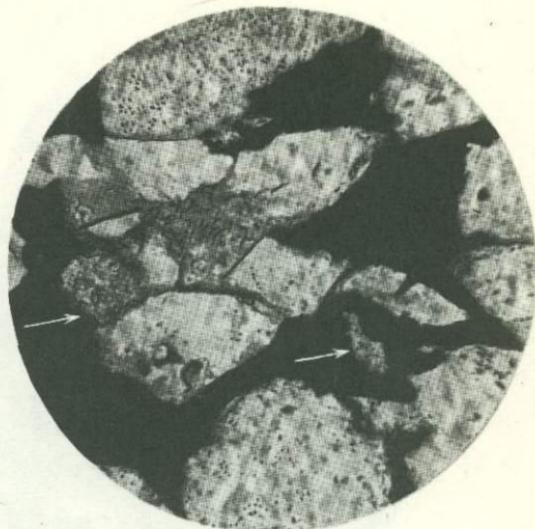


Рис.17. Песчаник с битуминозным цементом базально-поровой структуры (стрелками указаны остатки кальцитового цемента в битуме).
С1, Ярино, скв.2, гл.1670–1680 м

десульфирования гидрохимиками указывалось не раз (Сулин, 1946; Кузнецов и Старкова, 1952; Козин, 1960₁; Лондон, 1964 и др.).

Подавляющее большинство исследователей на основании своих многочисленных экспериментальных данных считали, что в этих процессах значительную роль играют бактерии, восстанавливающие растворенные сульфаты в присутствии углеводородных компонентов нефти и газа.

Сульфатредуцирующие бактерии интенсивнее всего развиваются в зонах контакта вода–нефть (Рейнфельд, 1947; Крамаренко, 1956 и др.). Для нас представляет интерес зависимость активности бактерий от распространенности твердых сульфатов кальция в породах и величины растворимости последних в пластовых водах (Козин, 1960₁; Лондон, 1964 и др.). Воды нефтяных месторождений нижнего карбона Волго-Уральской области почти всегда являются системами ненасыщенными в отношении сульфат-ионов, особенно в приkontурной зоне. Развитие сульфатвосстанавливающих бактерий до некоторой степени корректируется также химическим составом нефти (Вайнбаум, 1964). Можно проследить связь между наличием ангидритового цемента в песчаниках и его растворением в водоносных частях продуктивного пласта и присутствием в пластовых водах сероводорода, сульфат-ионов и сульфатредуцирующих бактерий в продуктивной толще нижнего карбона Мухановского месторождения.

В терригенной пачке нижнего карбона на Мухановской площади геологами выделены продуктивные пласти I, II, III и IV.

Ангидритовый цемент в песчаниках в основном был встречен в пласте 1.

В водоносных песчаных породах ангидрит был констатирован в большем объеме и чаще, чем в нефтеносных песчаниках. Меньшая об-

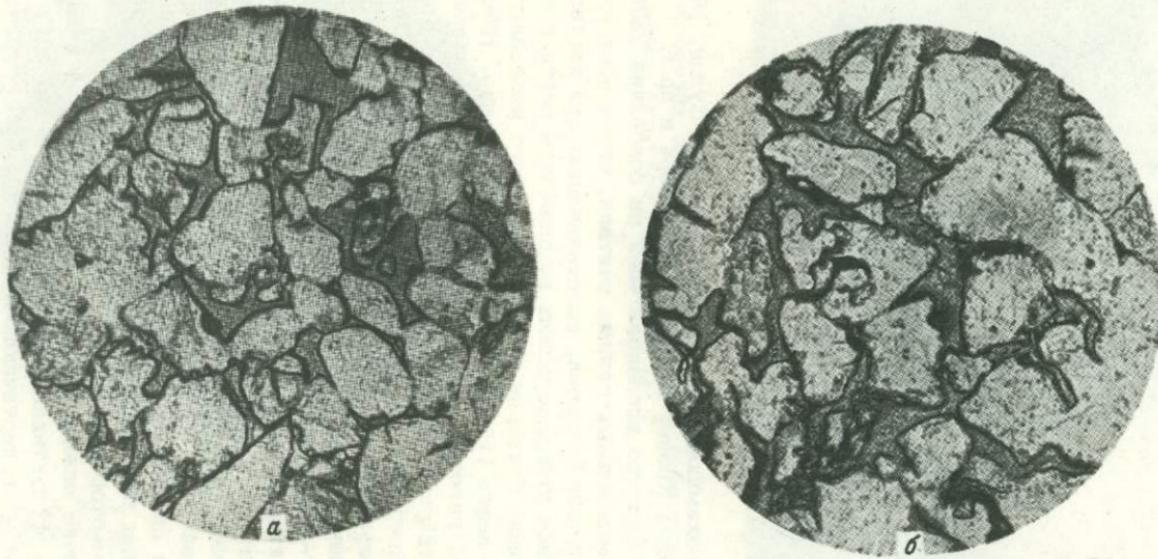


Рис.18. Песчаник пористый (заметна корродированная форма обломочного материала, поры заполнены бакелитом)
а - С₁, Раковка, скв.4, гл.1552-1558 м;
б - С₁, Коханы, скв. 402, гл.2284-2294 м

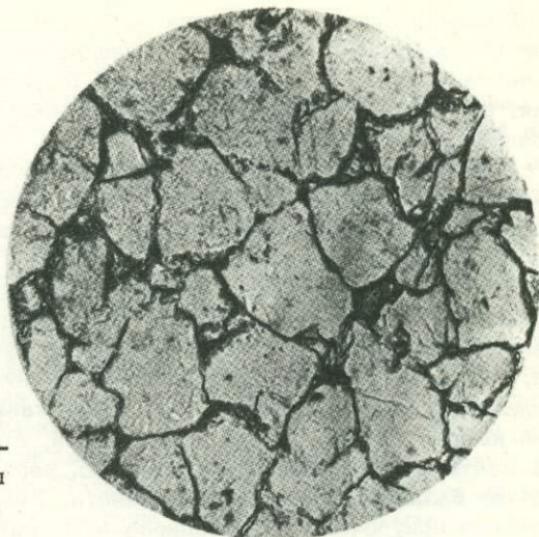


Рис. 19. Песчаник пористый (видна плотная укладка обломочного материала, поры заполнены бакелитом). С1, Михайловка, скв. 21, гл.
2874-2892 м

гашенность ангидритом нефтеносных песчаников, как нам кажется, объясняется более полным растворением сульфатов в тех участках песчаников, которые постепенно аккумулировали в себе промышленное скопление нефти. Остатки ангидрита, которые не успели раствориться, были законсервированы нефтью. Сама нефть в отношении бактерий стерильна (Симакова, Колесник, 1962). Предполагается, что разница в количестве сульфатного цемента в водоносных и нефтеносных породах вызвана образованием ангидрита в водоносных песчаниках после того, как в нефтеносных в связи с приходом в них нефти этот процесс был прекращен. Однако и в водоносных песчаниках участки ангидритового цемента в большинстве случаев имели явные следы растворения. Поэтому в этих породах после прихода нефти продолжалось растворение твердых сульфатов кальция и не могло происходить образование ангидриата.

В нижних трех продуктивных песчаных пластах ангидритовый цемент был обнаружен в виде очень редких небольших участков, приуроченных к нефтеносным частям коллекторов.

Неодинаковая распространенность твердых сульфатов кальция в разных продуктивных пластах хорошо совпадает с распределением в пластовых водах сероводорода и сульфат-ионов. По данным А.Н.Козина (1960б) и К.Б.Аширова (1960), в продуктивных пластах I и II Мухановского месторождения воды сероводородные и содержат сульфат-ионы, тогда как в водах пластов III и IV сульфат-ионы и сероводород почти полностью отсутствуют. Интересно, что и сульфатредуцирующие бактерии биохимиками были обнаружены лишь в пласте I. Такое распределение бактерий наглядно иллюстрирует не только зависимость их развития от химиизма пластовых вод, наличия в них растворенного сульфата, но и от содержания во вмещающих коллекторах ангидритового цемента.

Одновременное присутствие серодорода и бактерий в пластовых зонах и сульфатного цемента во вмещающих породах, как это наблюдалось в песчаниках первого продуктивного пласта Мухановского месторождения, показывает, что процесс растворения ангидритового цемента происходит и в настоящее время.

Аналогичная картина распределения сульфатного цемента в песчаниках и сульфат-ионов и сероводорода в пластовых водах отмечается и в коллекторах других месторождений Куйбышевского Заволжья (Радаевка, Горький Овраг, Раковка).

Растворение кальцитового цемента в изученных породах связано с процессом окисления нефти. Это подтверждается присутствием в песчаниках, насыщенных окисленной нефтью, участков кальцитового цемента, имеющих корродированный облик. В песчаниках, скементированных кальцитом, иногда отмечаются мелкие каверночки, выполненные окисленной нефтью (Ярино, Асюль, Васильевка, Арлан и др.). В песчаниках, скементированных окисленной нефтью, нередки участки, где нефть образует базально-поровый тип цемента. Учитывая, что к этим же песчаникам приурочены и корродированные пятна кальцитового цемента, можно предположить, что базально-поровая структура цемента окисленной нефти образована в результате растворения кальцита и заполнения освободившегося пространства нефтью.

Как известно, процесс восстановления сульфат-ионов сопровождается окислением нефти, в результате чего происходит обогащение пластовых вод сероводородом и углекислотой. Присутствие углекислоты в пластовых водах способствует переводу кальцитового цемента в легко растворимый бикарбонат кальция.

Современные, сильно метаморфизованные пластовые воды продуктивных пластов нижнего карбона рассматриваемой территории часто содержат в небольших количествах свободную углекислоту (0,3–1,7, реже 4–5%). Для Куйбышевской и Оренбургской областей, по данным А.Н.Козина, содержание в воде CO_2 колеблется в пределах 0–11,2%, причем наибольшее количество CO_2 было обнаружено в зоне водонефтяного контакта. Это обстоятельство, как и наличие в пластовых водах, подпирающих залежь, растворенного сероводорода, также говорит о происходящем в настоящее время окислении нефти, сопряженном с процессами десульфирования закончурных вод.

Итак, растворение ангидрита связано с недонасыщенностью пластовых вод сульфат-ионами благодаря их восстановлению в присутствии нефти и сопровождается окислением последней. Растворение же кальцита вызвано генерацией CO_2 в результате окисления нефти.

Перейдем к вопросу о возможности влияния вмещающей среды на свойства нефтей.

Подавляющее большинство нефтяников считает, что окисление и осорнение нефтей в результате восстановления растворенных в пластовых водах сульфатов кальция – одно из наиболее распространенных, иногда

интенсивно проявляющихся направлений вторичного изменения нефей в анаэробных условиях месторождений.

К.И.Мжачих (1959) экспериментальным путем продемонстрировал возможность образования серусодержащих органических соединений под непосредственным воздействием на нефть агентов серы, сернистого кальция и сероводорода. Л.А.Гуляева и Е.С.Иткина (1954) также отмечают химическую активность нефей, легко вступающих во взаимодействие с окислительно-восстановительными системами, образуемыми серой. Многие исследователи находят связь между осерненностью отдельных компонентов нефей и газов и наличием в осадочных породах твердых сульфатов кальция (Сулин, 1946; Успенский, Радченко, 1947; Успенский и Инденбом, 1957; Мжачих, 1959; Раабен, 1963 и др.). Действительно, при сопоставлении содержания серы и других физико-химических констант нефей разных нижнекаменноугольных месторождений Волго-Уральской области с количеством ангидрита во вмещающих коллекторах выявляется некоторое соответствие. Большая степень осернения нефей нередко совпадает с большим количеством ангидритового цемента в коллекторах, и наоборот, незначительная осерненность нефей наблюдается на месторождениях, где в коллекторах слабо развит или отсутствует ангидритовый цемент. Осернение нефти сульфатами кальция подтверждается также и наблюдавшимися следами растворения ангидрита в породах.

В коллекторах нижнего карбона месторождений Красный Яр и Муханово ангидрит присутствует в одинаково умеренном количестве, цементируя породу мелкими и крупными участками. Соответственно и нефть в этих двух месторождениях имеет приблизительно одинаково умеренную степень осернения (табл.3). Нефть Мухановского месторождения заметно отличается по содержанию серы и по другим физико-химическим показателям от нефти группы прилегающих месторождений (Дмитриевское и Коханское). В коллекторах последних месторождений ангидритовый цемент отсутствует и соответственно содержание серы в нефти в среднем в два раза меньше, чем в Муханове.

Большая разница в степени осернения замечена между нефтями месторождений Кинель-Черкасского и Сергиевского районов (Горький Овраг, Радаевка, Раковка). Содержание серы в нефти угленосной свиты Сергиевского района в среднем в 2-3 раза больше, чем в нефтях того же возраста Мухановского, Дмитриевского, Михайловского и других месторождений Кинель-Черкасского нефтяного района (см.табл.3). Высокая степень осерненности Сергиевских нефей угленосной свиты связывается с большим количеством сульфатного цемента во вмещающих нефть коллекторах и с малыми размерами самих залежей. Аналогичная зависимость осерненности нефти от количества сульфатов кальция в породах и размеров залежи нефти наблюдается и на месторождении Султангулово (Оренбургская область). К.И. Мжачих (1959) заметил, что интенсивность процессов окисления нефей должна зависеть от площади атаки нефти водой, т.е. от суммарной площади водонефтяного контакта. Крупные нефтяные залежи с большим этажом нефтеносности имеют от-

Таблица 3

Физико-химическая характеристика нефтий нижнего карбона месторождений Куйбышевской области

Месторождения	Горизонт, пласт	Интервал перфорации	Удельный вес, г/см ³	Содержание			Источник
				серы	акцизных смол	асфальтенов	
Михайловское	Бобриковский	2200-2300	0,825	0,80	10	0,60	Павлова, Дриацкая и др., 1962
"	Пласт II-IV	-	0,835	0,75	24,0	0,57	Лобов, Алексеев и др., 1960
"	Пласт IV	-	0,820	0,68	24	0,04	То же
Дмитриевские	"	-	0,831	0,78	-	0,49	"
Красноярские	Бобриковский	-	0,8694	1,09	64	0,65	То же
"	"	Около 2500	0,8454	2,01	18	1,09	Павлова, Дриацкая и др., 1962
Муханово, скв.2	"	-	0,8462	1,18	28	2,24	"
скв.3	Пласт I	2055-2076	0,8444	0,86	18,0	0,58	Макарова, 1954
скв.7	"	2061-2068	0,8369	1,22	20,0	1,29	То же
скв.5	"	2037-2062	0,846	1,18	26,0	-	Успенский и Инденбом, 1957
скв.2	Пласт II	2139-2171	0,876	1,44	26,0	-	То же
скв.18	"	2165-2170	0,8569	1,69	28	1,56	"

Таблица 3 (окончание)

Месторождения	Горизонт, пласт	Интервал перфорации	Удельный вес, г/см ³	Содержание			Источник
				серы	акцизных смол	асфальтенов	
2183-2178							
скв.20	"	-	0,8763	1,68	33,0	1,32	То же
скв.15	Пласт III	2170-2171	0,8572	1,61	42,0	0,95	Макарова, 1954
скв.3	Пласт IV	2171-2178	0,8543	1,86	30	1,33	То же
скв.19	"	2169-2181	0,8669	1,69	26	1,71	"
2183-2185							
скв.22	"	2180-2181	0,8559	1,37	24	0,80	Успенский и Индебом, 1957
скв.11	"	2162-2172	0,854	1,13	52		
Радаевка, скв.1 Пласт Б ₂							
"	скв.15	"	-	0,9069	2,91	52	3,10
"	скв.15	"	-	0,9101	3,01	60	2,91
"	скв.1	"	1384-1419,2	0,902	2,92	78	3,65
"	скв.6	"	-	0,916	3,58	80	4,49
"	скв.16	"	-	0,898	3,28	68	"

носительно меньшую площадь атаки водой на единицу объема нефти по сравнению с мелкими залежами, поэтому они лучше сохраняются в подзоне криптогенеза.

Имеются также случаи, когда не наблюдается соответствия между степенью осерненности нефтей и содержанием сульфатов кальция в коллекторах. На месторождениях Северной Башкирии и южной части Пермской области нефть тяжелая и высокосернистая (табл.4), но во вмещающих коллекторах почти отсутствуют новообразования сульфатов кальция (ангидрит был обнаружен лишь в нескольких образцах Ново-Хазинской площади). Однако анализ структуры продуктивных песчаников показал, что в них наблюдается корродированная форма обломочного материала и его свободная укладка, несмотря на их сравнительно глубокое залегание. Эти особенности структуры коллекторов дают возможность предполагать о происходившем в них растворении цементирующего материала. О том, что в коллекторах рассматриваемых месторождений в геологическом прошлом происходили процессы десульфирования, также пишет и В.А.Кротова (1962) на основании своих гидрохимических данных. Исследованиями Н.П.Егоровой (1962) установлено, что в залежах Арланского месторождения в геологическом прошлом в коллекторах протекали процессы осернения и окисления нефти. Ею установлена определенная закономерность изменения в залежах таких параметров нефти, как удельный вес и содержание серы. Изменения заключались в увеличении удельных весов и содержания серы от центральной части залежи, занимающей наиболее высокое структурное положение, к водоплавающей.

Эти данные подтверждают, что осернение нефтей в коллекторах тесно связано с процессами десульфирования и сопровождается большим или меньшим растворением ангидритового цемента. Кроме того, на степень осерненности нефтей могут влиять и такие факторы, как продолжительность времени пребывания нефти в среде повышенного содержания сульфатов кальция и продуктов их восстановления, размер самой залежи, этаж нефтеносности, состав нефтей и т.д.

Сложнее картина наблюдается в нефтяных залежах Ярино-Каменно-ложского месторождения. Несмотря на то, что в отдельных образцах песчаных коллекторов, приуроченных к краевой зоне залежи, отмечались участки ангидритового цемента с корродированными очертаниями, запечатанные в окисленной нефти, основная масса нефти залежи имеет низкий процент серы (0,53). Можно предположить, что здесь оказали влияние большой размер залежи и неблагоприятный для осернения состав нефти. В рассматриваемых нефтях, в отличие от упомянутых месторождений, наблюдается низкое содержание смол и асфальтенов, которые, как считают, наиболее легко вступают в реакции с серой (табл.5).

Следует оговориться, что существуют и другие пути осернения нефти, но этот вопрос требует специального рассмотрения.

Изучение коллекторов под микроскопом показало, что протекающие в песчаниках химические изменения пластовых вод и нефтей нередко накладывают отпечаток на структуру пород. Следствием восстановления

Таблица 4

Физико-химическая характеристика нефти бобриковского горизонта нижнего карбона Башкирской АССР (по данным ЦНИИа треста БВНР)

Месторождение	Число скважин	Удельный вес г/см ³	Содержание серы, %	Остаток по- сле разгонки по Энглеру, %
Игревка	10	0,9037-0,9199	2,7-4,28	67,2-72,9
Кузбаево	10	0,889-0,942	2,63-5,06	63,0-76,1
Четырман	16	0,889-0,9513	2,63-5,46	61,7-70,7
Татышлы	5	0,8916-0,9269	2,48-3,37	64,8-69,4
Арлан	14	0,8900-0,9348	2,80-3,98	62,8-76,7

сульфатов кальция и окисления нефти в песчаных коллекторах является растворение ангидритового и кальцитового цементов, отчетливо отмечавшееся в шлифах.

Влияние постседиментационных процессов на структуру песчаных и алевритовых пород

Катагенетическая стадия существования осадочных пород обнимает огромный в геологическом масштабе промежуток времени, в течение которого порода, подвергаясь воздействию таких факторов, как температура, давление, минерализованные пластовые воды, нефтяные флюиды, может сильно изменить свою структуру и даже минералогический состав.

Структурные преобразования изученных неглинистых песчаных и алевритовых пород будут различны для слабосцементированных разностей и для пород с сильной цементацией.

В слабосцементированных песчаных и алевритовых породах обломочные зерна скреплены, как правило, небольшим количеством аутогенного кварца. Иногда отмечены мелкие пойкилитовые участки кальцитового, доломитового и ангидритового цементов.

Наблюдавшиеся колебания в структуре и объеме порового пространства рассматриваемых песчаников обусловлены в основном формой обломочных зерен и их укладкой.

В одних образцах поровое пространство было образовано обломочными зернами корродированной, извилистой формы, причем обломки были расположены довольно свободно. Такие песчаники и алевролиты обладают высокой пористостью и широко распространены на Мухановском

Таблица 5

Физико-химическая характеристика нефти бобриковского горизонта
нижнего карбона Пермской области
(усредненные данные Н.А.Пьянкова и Л.П.Шевченко на 1.1X 1962 г.)

Месторождение	Число сква- жин	Плотность, г/см ³	Количество серы, %	Содержание, %		
				серно- кислот- ных смол	сили- каче- левых смол	асфаль- тенов
Ярино-Камен- ноложское	63	0,804-0,849	0,38-0,78	11,0	6,6	0,23
Кухтымское	1	0,807-0,824	0,78	12,0	5,7	0,24
Талицкое	1	-	-	-	-	-
Межевское	1	0,835-0,837	0,75-0,92	18	6,42	0,50
Кыласовское	2	0,826-0,849	0,90-1,26	11	-	-
Мазунинское	2	0,864-0,892	1,65-2,39	52	16,60	3,88
Павловское	13	0,874-0,895	1,80-2,38	51	16,86	2,29
Таныпское	14	0,871-0,902	1,88-2,51	51	14,26	4,53
Асольское	1	0,863-0,873	1,85-2,20	37	17,91	1,72
Куединское	11	0,885-0,911	2,28-3,20	73	16,60	5,59
Гожансское	8	0,903-0,925	2,46-3,98	80	23,93	10,19
Мускульдинское	5	0,914-0,926	2,53-3,46	88	26,57	6,67
Шумовское	3	0,896-0,907	2,00-2,60	60	24,71	2,80
Майкорское	1	0,871-0,876	1,73-1,83	37	18,21	2,57

месторождении, а также в разрезах Горького Оврага, Раковки, Радаевки, Елабуги, Ярина, Каменного Лога, Арлана и др. (см.рис. 18,а). Реже отмечаются они на месторождениях Михайловки, Коханы, Яблоневки, Городецка, Васильевки (см.рис.18,б). В других образцах песчаников поры составлены зернами, имеющими большей частью угловатую или полууглуватую форму, и сравнительно плотную укладку. Песчаники с плотной укладкой более обычны в районах Михайловки, Коханы, Дмитриевки, Яблоневки, Межевской, Кыласова, Мазунина, Васильевки (см. рис.19).

Характерной особенностью кварцевых зерен пород с высокими значениями эффективной пористости ($\Pi_{\text{эф}}$ 20-23%), как уже было сказано,

является их корродированная форма. Коррозия кварцевых зерен в песчаниках связана с ранее происходившей цементацией их ангидритом и кальцитом, а высокая величина эффективной пористости объясняется последующим растворением цемента, чему способствовал приход нефти в пласт. После частичного растворения участков сульфатного и кальцитового цементов в песчаниках оставались обломочные зерна корродированной формы и соответственно увеличенные размеры поровых пустот и каналов. Обломочные зерна, предварительно корродированные и часто уменьшенные в диаметре, при своем высвобождении от цемента, происходившем на глубине, сдавливались одно с другим на контактах, не успев при этом принять плотную укладку. Более крупные зерна отчасти предохраняли от сдавливания мелкий обломочный материал. Этим и объясняется свободное расположение зерен в указанных песчаниках.

Влияние геостатического давления на плотность укладки обломочного материала одновозрастных песчаников с корродированной формой зерен кварца, несмотря на большой диапазон глубины их залегания (1000–2300 м), сказывается незначительно. В песчаных породах, залегающих на глубине порядка 1800–2300 м, нагрузка лежащих выше отложений проявляется лишь в образовании напряженных контактов между обломочными зернами. В результате большой нагрузки на контактах зерен последние или дробились на мелкие кусочки, или в них образовывались трещинки (рис.20). Чаще всего растрескивались зерна удлиненной формы, расположенные параллельно или под углом к направлению давления, и зерна с извилистой конфигурацией, которая увеличивала их хрупкость. Несмотря на напряженные контакты между обломками кварца, в целом плотная укладка зерен в пористых песчаниках или отсутствует, или наблюдается лишь сравнительно мелкими участками, которые не меняют ни их высокой величины пористости, ни общей картины довольно свободного расположения зерен. Контакты между кварцевыми зернами в высокопористых песчаниках, залегающих на глубинах 1300–1500 м, имеют сравнительно спокойный характер с более редкими случаями внедрений и дроблений в местах соприкосновения зерен.

Слабосцементированные песчаники с достаточно плотной укладкой обломочного материала имеют более низкие значения эффективной пористости. Они также встречены на разных глубинах. Обломочный материал в уплотненных песчаниках, в отличие от высокопористых, характеризуется слабовыраженной или локальной корродированностью. Образование плотной укладки обломков связано с некоторым их пространственным перемещением по мере погружения пород и находится в прямой зависимости от интенсивности воздействия геостатического давления. В зависимости от форм обломочных зерен компактная укладка последних выразилась или в параллельном расположении уплощенных зерен или в том, что выступы одних зерен соответствовали впадинкам других.

На больших глубинах (2000–2500 м) на контактах зерен кварца наблюдается сдавливание и связанные со сдавливанием случаи слабого

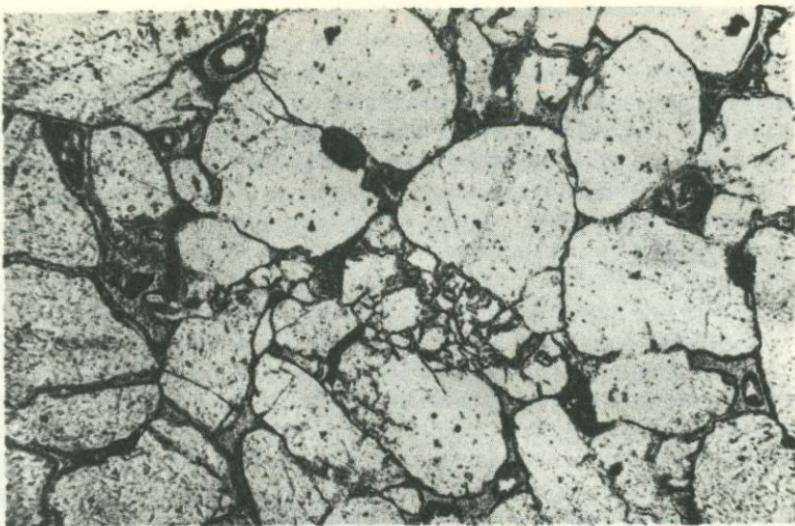


Рис.20. Дробление обломочных зерен кварца в пористым среднезернистом песчанике (поры заполнены бакелитом). С₁, Михайловка, скв.21, гл.2296–2301 м

внедрения и дробления, которые в сочетании с компактным расположением терригенного материала еще больше усиливают картину плотной укладки обломков кварца. Компактная укладка терригенного материала в песчаниках, залегающих на меньших глубинах (1300–1500 м), наблюдается реже и, в отличие от более глубокозалегающих песчаников, контакты между зернами заметно менее напряжены.

Первым условием для образования плотной укладки в неглинистых разностях песчаников является изначальное отсутствие хемогенного кристаллического цемента, что давало возможность зернам пространственно перемещаться и принимать более плотную укладку по мере погружения пород. Песчаники, несмотря на плотную укладку обломочного материала, в большинстве случаев являются рыхлыми или почти рыхлыми разностями.

Происхождение удлиненных и выпукло-вогнутых межзерновых контактов в песчаниках с плотным расположением обломочного материала объясняется совпадением форм зерен кварца под влиянием давления лежащих выше отложений. Растворения зерен кварца на контактах почти не наблюдалось. Контакты между зернами обычно отграничены бакелитом или имеют глинистые прокладки, т.е. не носят сливного характера. На рисунке 21 обломочные зерна кварца, имеющие округло-угловатую или неправильную форму, скреплены глинистым материалом. Тип цемента базальный. Хорошо видно, что если мысленно удалить глинистый цемент и сблизить зерна до непосредственного контакта, они будут иметь довольно компактную укладку с удлинен-

ными и выпукло-вогнутыми контактами. При этом для достижения такой сближенной структуры обломочного материала вовсе не требуется растворения кварцевых обломков на их контактах.

Исключение представляют довольно редкие образцы песчаных пород с весьма плотной укладкой кварцевых зерен, в которых наблюдались отчетливые следы растворения на их контактах вплоть до образования микростилолитов (рис.22). Характерная их особенность – почти постоянное присутствие на контактах зерен тонкой буроватой глинистой прокладки. Очевидно, что причина растворения кварцевых зерен на контактах кроется в глинистом материале (в химических свойствах связанной воды, дисперсности и пластичности глинистого вещества и т.п.). Такие песчаники встречались как на сравнительно небольших глубинах, около 900–1200 м, так и на глубинах 1800–2400 м.

До сих пор нами рассматривались случаи изменения структуры песчаников, слабо cementированных катагенными минералами. Однако в продуктивных пластах терригенной толщи нижнего карбона были конституированы песчаники и алевролиты с заметной цементацией катагенными минералами. Катагенные минералы, заполняя частично или полностью поровое пространство, ухудшали их коллекторские свойства. Размер и структура порового пространства в песчаниках с отчетливо выраженной цементацией зависят от формы выделения в породе катагенных минералов и их взаимоотношения с обломочным материалом.

К числу цементирующих минералов, оказывающих влияние на изменение коллекторских свойств в рассмотренных песчаных породах, относятся кварц, пирит, карбонаты, ангидрит.

Аутигенный кварц в алевролитах и гранулометрически разных типах песчаников имеет неодинаковое развитие, поэтому его роль в изменении величины порового пространства в этих типах пород проявляется неодинаково. В наибольших количествах аутигенный кварц отмечался в мелкозернистых песчаниках и алевролитах. Именно поэтому в этих разностях пород и оказывается больше всего его влияние на изменение их емкостных и фильтрующих свойств. Разрастание кварцевых зерен, как известно, происходит в поровых пространствах, что приводит к уменьшению объема сообщающихся пор. Реже аутигенный кварц образует плотную непроницаемую кварцитовидную структуру.

Кроме того, регенерационные оболочки зерен кварца нередко придают первоначально окатанным и сглаженным обломкам остроугольную или зубчатую конфигурацию, осложняя форму порового пространства и тем самым ухудшая фильтрационные качества пород-коллекторов. Однако в отдельных случаях цементация аутигенным кварцем обломочного материала в конце диагенеза или в начале катагенеза способствовала сохранению высокой пористости песчаных пород на больших глубинах. Это происходило при выделении аутигенного кварца в небольших количествах, но достаточных для образования прочных сливных контактов между обломочными зернами, способных противостоять воздействию геостатического давления и тем самым препятствовать уменьшению

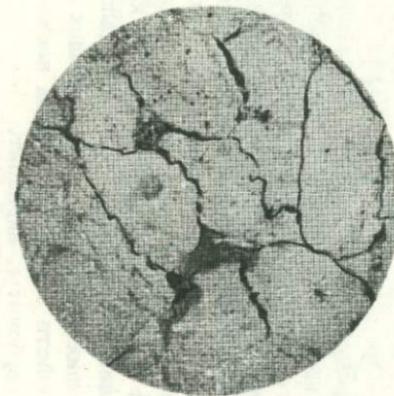
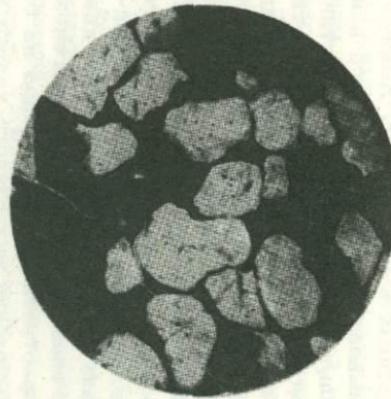


Рис.21. Песчаник глинистый (в случае отсутствия глинистого цемента в песчанике наблюдались бы удлиненные и выпукло-вогнутые контакты между обломочными зернами). С₁. Павловка, скв.6, гл.1392–1404 м

Рис.22. Микростилолитовая структура глинистого песчаника (на контактах зерен видны глинистые прокладки). С₁, Васильевка, скв.22, гл.1783–1788 м

объема пор. Разумеется, что более слабые связи между зернами по мере увеличения давления (нагрузки) разрываются и в таких участках песчаника зерна сближаются, образуя более плотную укладку.

Другие катагенные минералы (пирит, карбонаты, ангидрит) чаще всего имеют спорадический характер выделения – в отличие от кварца, более или менее равномерно пронизывающего всю породу. Цементация песчаников и алевролитов пиритом, сидеритом, кальцитом, доломитом и ангидритом локальными участками уничтожает поры лишь в местах их образования, сохраняя в несцементированных участках песчаного пласта его хорошие фильтрующие свойства. Снижение емкостных свойств зависит от размера участков и частоты их встречаемости.

На отдельных площадях (Раковка, Радаевка, Горький Овраг) процессы сульфатизации и карбонатизации в песчаниках получили сильное развитие и превратили их в породы с плохими коллекторскими свойствами.

Итак, все разнообразие структур и значительное колебание объема порового пространства песчаных и алевритовых пород нижнего отдела карбона были вызваны неодинаковой интенсивностью проявления в коллекторах различных катагенетических процессов, заключавшихся в цементации пород, последующем растворении некоторых цементирующих минералов и уплотнении обломочного материала, связанном с глубиной их погружения. Однако все эти процессы по-разному влияют на оценку коллекторских свойств песчаных пород.

Отрицательным явлением для характеристики коллекторов следует считать усиленную катагенную цементацию, которая может приводить к образованию непроницаемых разностей. Частичное снижение эффективной пористости в слабосцементированных разностях может быть вызвано плотностью укладки обломочного материала под влиянием гравитационного давления. Наблюдавшиеся случаи растворения отдельных цементирующих новообразований, наоборот, способствовали формированию коллекторов повышенной нефтеемкости даже на больших глубинах.

Таким образом, в зависимости от того, какой из процессов катагенеза превалировал в песчаных породах, их емкость по сравнению с первоначальной, образованной обломочными и диагенетическими минералами, могла быть уменьшена или, наоборот, увеличена.

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Краткие сведения о стратиграфии, нефтеносности карбонатной толщи и ее литологическая характеристика

Изученная карбонатная толща относится к нижнему (в объеме намюрского яруса) и среднему карбону. Намюрский ярус на большей части Пермской области представлен противинским горизонтом мощностью 10–87 м. Лишь в Предуральском прогибе прослежены краснополянские слои мощностью 15–23 м.

На границе нижнего и среднего карбона отмечается региональный перерыв в осадконакоплении. Башкирский ярус подразделяется на нижний и верхний подъярусы, которые расчленяются на северо-кельтменский, прикамский, черемшанский и мелекесский горизонты. Мощность их колеблется от 20 до 80 м.

В московском ярусе выделены верейский, каширский, подольский и мячковский горизонты. На ряде площадей между верейским и каширским, каширским и подольским горизонтами фиксируются перерывы в осадконакоплении. Мощность московского яруса 101–511 м.

Карбонатная толща регионально нефтеносна. В ней выделяются следующие продуктивные горизонты: 2 в намюрском ярусе; 4–5 в башкирском ярусе; 5 – в верейском; 2 – в каширском и 1–2 в подольском горизонте московского яруса.

Глубина погружения карбонатных коллекторов от 783 до 1578 м. Разница в глубине залегания одновозрастных горизонтов составляет 300–500 м. Карбонатная толща сложена преимущественно известняками. Прослоями и линзами залегают доломиты, мергели, глины, алевролиты, песчаники. Известняки являются основными коллекторами нефти и газа на этой территории, поэтому в работе рассмотрены только их литологические особенности и структурно-минеральные постседиментационные преобразования.

Среди известняков по схеме классификации карбонатных пород И.В.Хворовой (1958) выделены обломочные, органогенные и хемогенные типы. К числу обломочных отнесены известняковые конгломерато-брекчии. Большая группа органогенных известняков подразделяется на органогенно-детритусовые и биоморфно-детритусовые. Хемогенные известняки представлены оолитовыми и микрозернистыми породами.

Почти все типы известняков встречены в каждом стратиграфическом подразделении изученного разреза, поэтому дается их общая петрографическая характеристика.

Обломочные карбонатные породы представлены конгломерато-брекчиями. Это пестроокрашенные породы, сложенные различно окатанными и плохо отсортированными обломками известняков и реже скелетных остатков организмов. Цементом служит мелко- и среднекристаллический и тонкозернистый кальцит. Иногда пространство между крупными обломками заполнено мелким органогенным дегритусом. Некоторые образцы содержат обильные выделения красно-бурых гидроокислов железа. Они развиваются по границе обломков и цемента и образуют прожилки в цементе, подчеркивая грубообломочный характер породы. Цементация конгломерато-брекчий довольно плотная.

Органогенные известняки составляют большую группу пород, в которую входят органогенно-обломочные, органогенно-дегритусовые, биоморфные и биоморфно-дегритусовые.

Органогенно-обломочные и органогенно-дегритусовые известняки характеризуются массивной, слоистой и стилолитовой текстурой. Окраска пород меняется от грязно-белой до темно-серой с различными оттенками желто-коричневых и зеленых тонов. Более темные цвета свойственны известнякам с обильной песчано-алевритовой и глинистой примесью. Структура и текстура, состав обломков и цемента органогенно-обломочных и органогенно-дегритусовых известняков весьма близки. Различает их присутствие в органогенно-обломочных известняках обломков карбонатных пород и окатанность скелетных остатков организмов.

Обломочная часть известняков сложена в разной степени окатанными и отсортированными скелетными обломками фауны и флоры, известняков, оолитами и терригенными зернами кварца, полевых шпатов и др. Обычны обломки скелетных частей иглокожих, остракод, пелепицопод, фораминифер, гастропод, брахиопод, мшанок, водорослей, кораллов; изредка встречаются трилобиты, остатки рыб. Групповой состав организмов, скелеты которых слагают породу, весьма разнообразен, поэтому исследованные органогенно-обломочные и органогенно-дегритусовые известняки следует именовать смешанно-обломочными. Однако в крупнодегритусовой части его обычно преобладают остатки определенной группы организмов. Наиболее часто встречаются известняки с обилием фораминифер, брахиопод, крионидей. Скелет большинства органогенных остатков кальцитовый. Встречены лишь единичные обломки раковин лингул, кости и чешуя рыб, сложенные анизотропным фосфатным веществом. По периферии некоторых органогенных обломков наблюдается слабая грануляция — результат деятельности сверлящих водорослей. Известняки иногда содержат заметное количество проблематических образований округлой формы, сложенных микрозернистым кальцитом.

В органогенных известняках отмечено терригенная песчано-алевритовая примесь, обильная для верейских отложений (30–40%). Обломки характеризуются различной степенью окатанности и отсортированности. Сложены они кварцем, полевыми шпатами, слюдами, хлоритом и аксессорными минералами, кварцитами; глинистыми, глинисто-слоистыми сланцами и эфузивными породами.

Присутствие обломков известняков и оолитов в органогенно-обломочных известняках сближает их с обломочными и хемогенными известняками. Цементом известняков служит микро- и тонкозернистый и яснокристаллический кальцит. Роль локального цемента иногда играет флюорит, ангидрит, кварц и гипс. Описанные цементы могут присутствовать одновременно примерно в равных количествах. Однако чаще встречаются породы с преобладанием микро- и тонкозернистого или мелко- и среднекристаллического кальцитового цемента. В состав цемента в виде примеси к тонко- и микрозернистому кальциту входит терригенный глинистый материал. Содержание глинистой примеси варьирует от 1 до 30%. Максимальные количества ее свойственны известнякам верейского и реже каширского горизонтов.

Доломитизация известняков также неравномерная. Наблюдаются постепенные переходы от известняков к доломитам с реликтами первичного известкового осадка.

В известняках довольно часто встречаются тонкие, различно ориентированные трещинки, выполненные среднекристаллическим кальцитом, ангидритом, кварцем, флюоритом и глауконитом.

Биоморфные и биоморфно-детритусовые известняки представлены небольшой группой пород. Встреченные нами биоморфные и биоморфно-детритусовые известняки являются преимущественно фитогенными. К чисто фитогенным можно отнести лишь редко наблюдавшиеся корковые образования — строматолиты.

Основная масса рассматриваемых пород отнесена к биоморфно-детритусовым известнякам, состоящим из смеси мало поврежденных и раздробленных скелетных частей водорослей. В качестве постоянной примеси в них присутствуют скелетные остатки различных морских беспозвоночных организмов. Структура известняков меняется от грубо- до тонкозернистой, текстура массивная, реже — толстослоистая. Окраска пород преимущественно светло-серая.

Первичный цемент в биоморфно-детритусовых известняках играет подчиненную роль. Обычно водорослевые известняки весьма пористые. Последующие процессы вторичной кальцитизации превращают их иногда в плотные породы.

Хемогенные известняки представлены оолитовыми и микро- и тонкозернистыми разностями.

Оолитовые известняки — грязно-белые и светло-серые породы с характерным оолитовым строением. Мелкооолитовые известняки макроскопически не отличаются от тонкозернистых. Известняки состоят из довольно хорошо отсортированных по размеру оолитов, форма которых обусловлена формой ядра, состоящего из скелетных обломков организмов, цельных раковинок фораминифер или обломков кварца. Оболочки имеют отчетливое концентрическое и радиально-лучистое строение. Концентров обыч но немного (1-3). Кроме оолитов эти известняки содержат меняющееся количество обломков известняков, органогенных остатков и микрозернистые кальцитовые комочки.

Цементом служит микро- и тонкозернистый и кристаллический кальцит. Содержание первичного цемента, как правило, незначительное.

Очень часто оолиты скреплены в точках соприкосновения крастификационным кальцитовым цементом. Оставшиеся промежутки либо заполнены кристаллическим кальцитом, либо пусты.

Микро- и тонкозернистые известняки представляют собой светло- и желтовато-серые, реже серые и коричневато-серые породы со скрытокристаллической структурой и массивной, тонко-слоистой и стилолитовой текстурой. Основная масса этих пород сложена тонко- и микрозернистым кальцитом. Весьма часто содержится небольшое количество мелкого органогенного дегритуса. Скелетные обломки организмов обычно неравномерно распределены в основной массе. Иногда они образуют небольшие скопления линзообразной формы или тонкие прослойки. Удлиненные или плоские фрагменты ориентированы горизонтально и обуславливают незавершенную слоистость породы. Групповой состав скелетных остатков тот же, что в органогенно-дегритусовых известняках. В единичных образцах отмечены спикулы губок, кремлевый скелет которых замещен кальцитом или флюоритом. Микро- и тонкозернистые известняки содержат обычно мелкоалевритовую и глинистую примесь и незначительное количество обуглившегося растительного дегрита. Наиболее обогащены терригенной примесью породы верейского горизонта.

Микро- и тонкозернистые известняки неравномерно доломитизированы и перекристаллизованы. Процесс доломитизации иногда глубоко преобразует породу до перехода известняка в доломит замещения. Перекристаллизация микро- и тонкозернистого кальцита происходит не повсеместно, а пятнами и прожилками. Съединяясь, перекристаллизованные участки оконтуривают островки тонко- и микрозернистого кальцита, что придает породе вид псевдобрекции.

Представляет интерес происхождение нередко встречаемых комочек или сгустков микрозернистого кальцита в известняках. Существуют различные взгляды на образование сгустковых известняков. М.С.Швецов (1948) полагает, что они могут представлять собой хорошо окатанные сингенетические обломочки полу затвердевшего ила, комочки химически выпавшего осадка карбоната кальция, продукты грануляции оолитовых зерен, в которых были уничтожены следы концентратов и, наконец, фекалии мелких организмов. В.П.Маслов (1955) рассматривает образование одних сгустков как результат жизнедеятельности сине-зеленых водорослей (сгустки, в центре которых встречаются обломки водорослей), а возникновение других, не заключающих каких-либо органогенных остатков, связывает со "слippанием" химически выпавшего карбоната кальция. И.В.Хворова (1958) сгустковые и комковатые известняки относит к органогенным, считая, что их образование связано с жизнедеятельностью организмов. М.З.Сюндюков (1961) сгустковые известняки считает хемогенными. По его мнению, выпавший из раствора кальцит в самой начальной стадии диагенеза благодаря коагуляции образовывал четкие округлые сгустки. В других случаях органогенные остатки явились "центрами прилипания" химически осаждавшегося микрозернистого кальцита.

Сгустки микрозернистого кальцита, наблюдавшиеся в каменноугольных отложениях Пермской области, свойственны как органогенным, так

и хемогенным известнякам. Некоторые из них представляют собой водорослеводобные сгустки типа *Nubecularites masl*. Другие обособились в результате неравномерной перекристаллизации микрозернистого кальцитового цемента. Основная же масса их, по-видимому, образовалась биохемогенным путем.

Сгустки микрозернистого кальцита были, очевидно, в какой-то степени твердыми телами в рыхлом обводненном осадке. Это предположение следует из того, что они так же, как и скелетные обломки различных организмов, подверглись крустификации — наросту щеток мелкокристаллического кальцита.

Для более полной характеристики известняков был изучен их нерастворимый остаток. Способ получения и изучения нерастворимого остатка несколько отличался от общепринятого. Карбонатный материал переводился в раствор 5%-ной соляной кислотой при комнатной температуре. Изучение нерастворимого остатка производилось по методике П.П. Авдушина (1953), разработанной для исследования глинистых пород. Выделенный нерастворимый остаток промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на хлор-ион. Затем из влажного нерастворимого остатка приготавливается иммерсионный препарат. В качестве иммерсионной среды применялась жидкость Тулэ (уд.вес 2,2) с показателем преломления 1,5457. Так как вода влажного нерастворимого остатка немного снижала показатель преломления жидкости Тулэ, вносилась поправка. Показатель преломления принимался равным приблизительно 1,540. Изучение нерастворимого остатка без предварительного высушивания дает определенные преимущества. Глинистые частицы, составляющие значительный процент нерастворимого остатка, при таком методе исследования сохраняют свое дисперсное состояние, что облегчает их диагностику. Кроме того, сокращается время проведения анализа.

Содержание нерастворимого остатка колеблется в широких пределах от десятых долей процента до 40–45%, причем количество его определяется стратиграфическим положением известняка и в меньшей степени его типом (табл.6). Нерастворимый остаток состоит из песчано-алевритовых обломков кварца, полевых шпатов (кислые плагиоклазы, ортоклаз и микроклин), слюд (мусковит и биотит), хлорита, аксессорных минералов, кремнистых, глинистых, эфузивных пород, глинисто-слюдовых сланцев, обрывков спор и обуглившихся растений, глинистых минералов.

Аутигенные компоненты нерастворимого остатка представлены квартцем, полевыми шпатами, халцедоном, пиритом, марказитом, сфalerитом, ангидритом, гипсом, каолинитом, гидрослюдой, глауконитом, анатазом, опалом, гидроокисями железа, фосфатами кальция, магнезиальными силикатами (сепиолит и пыльгортскит), флюоритом.

Такое подразделение нерастворимого остатка на аллотигенные и аутигенные компоненты позволит по содержанию терригенной примеси судить об относительном положении источника сноса и производить более уверенные палеогеографические реконструкции.

Различные типы известняков занимают неодинаковый объем в разрезе. Наиболее развиты во всех стратиграфических подразделениях органогенно-детритусовые известняки. Следующими по распространенности

Таблица 6

Количество и состав нерастворимого остатка известняков

Возраст	Площадь	Содержание, %	Терригенные компоненты												Аутигенные компоненты													
			песчано-алевритовые						глинистые						гидраты SiO_2 и Al_2O_3				гидроокислы железа									
			кварц	полевые шпаты	слюды (биотит и мусковит)	хлорит	акцессорные минералы	кремнистые породы	глинистые породы	сланцы глинисто-слоистые	эффузивные породы	обрывки спор и обуглившихся растений	каолинит	монтмориллонит	гидрослюды	каолинит с гидрослюдами	гидрослюды с каолинитом	монтмориллонит с приемлемым каолинитом	кварц	полевые шпаты	халцедон	пирит	ангидрит	гипс	глауконит	анатаз	опал	
C_2^{2m}	Тарасовская	10										+								□								
	Вятская	0,1-3	□	△								+	△	□						△	△	△	△	□	△	+		
C_2^{2pd}	Тарасовская	0,1-5										+	△	△						△	△	△	△	□				
	Вятская	0,1-15, преобладает 0,1-2,0	△									+	△	△						△	△	△	△	□	△	+		
C_2^{2k}	Тарасовская	0,1-10, преобладает 2,0											△							△	△	△	△	□				
	Вятская	1,0-5,0	△		△								△	△						△	△	△	△	□	△			
	Сарапульская	10,0	△	△								+	△							△	△	△	△	□				
	Долгановская	0,1-20,0; преобладает 3,0-10,0	△	△	△								△	△						△	△	△	△	+	+			
	Павловская	0,1-40,0	△	△	△							△		□	△	△				△	△	△	△	□	+			
	Таныпская	0,1-40,0; преобладает 3-7,0	△	△	△	+	+	+				+	+	△	△	□				△	□	□	□	□	△	+		
	Таежная	0,01-2,0; преобладает 0,1	△	□	□		△						△	□	△					△	△	△	△	□		+		
	Сарапульская	0,1-45,0; преобладает 2-5,0	□	□	□	□	△	△						□	△	□				□	□	□	□	□	△			
C_2^{2v}	Долгановская	0,1-40,0	□	□	□	□	△	△	△	△	△		+	△	△	△	□			□	□	□	□	□	+	△		
	Березовская	0,1-50,0; преобладает 3-5,0	□	□	□	□	△	△	△	△	△		△	△	□				△	□	□	□	□	+	+			
	Павловская	1,0-40,0	□	□	□	□	△	△	△	△	△			△	△	△				□	□	□	□	□	+	+		
	Таныпская	0,1-50,0; преобладает 5-15,0	□	□	□	□	△	△	+	△	+	+		□	△	△	□			□	□	□	□	□	△	+		
	Таежная	1,0-10,0	□	□	□	□	△	△	+					□	□					□	□	□	□	□	□	+		
	Сарапульская	0,1-25,0; преобладает 2-5,0	□	△	△									□	△					△	△			△	△			
	Долгановская	0,1-5,0													□	△												
	Березовская	1-30,0	□											△	□	□				△	△	□	□					
C_2^1	Таныпская	0,1-5,0	□	△	△	+								□	△	△	□		△	□	□	□	□	△	+	+		
	Таежная	0,1-15,0	□												△	△				△	□	□	□	□	□	+		
	Межевская	0,1-20; преобладает 0,1-2,0	□	△	△										△	△	□			□	△	□	□	△	+	+		
	Каменноложская	0,1-5,0	□												△	△	△			□	□	□	□		+			
C_1^3	Таныпская	0,1-7; преобладает 0,	□												□	△	△	□		△	□	□	□	+	+	+		
	Таежная	0,1-1,0														□	□			□	△	□	□	□	△		+	

Примечание \times - много, \square - обычен, \triangle - мало, + - следы.

являются микро- и тонкозернистые разности с редким органогенным детритусом и биоморфно-детритусовые и биоморфные известняки. Органогенно-обломочные и оолитовые известняки и известняковые конгломерато-брекчии образуют маломощные прослои в отложениях намюрского, башкирского ярусов, верейского горизонта и очень редко - в выше лежащих горизонтах московского яруса.

Интенсивность постседиментационных преобразований описанных типов известняков несколько различна и зависит от первичной структуры осадков, которая обуславливает их пористость и проницаемость.

Постседиментационные изменения известняков фиксируются по выделению аутигенных минералов, растворению и перекристаллизации карбонатного материала. Остановимся на рассмотрении каждого из этих процессов.

Аутигенное минералообразование

В известняках обнаружен довольно богатый комплекс аутигенных минералов: тонко- и микрозернистый кальцит, гидроокислы железа I генерации, фосфаты кальция, анатаз, глауконит I генерации, пирит I генерации, кальцит и доломит I генерации, полевые шпаты, каолинит, халцедон и кварц I генерации, пирит II генерации, марказит, селлерит, гидроокислы железа II генерации, кальцит и доломит II генерации, гидрослюды, глауконит II генерации, магнезиальные силикаты (сепиолит и палыгорскит), флюорит, барит, ангидрит, кварц и халцедон II генерации, гипс. Минеральные новообразования перечислены в порядке их выделения. Последовательность кристаллизации аутигенных минералов установлена автором на основании пространственных взаимоотношений новообразованных минералов с учетом физико-химических условий их возникновения и существования.

Минеральные новообразования выделяются в пустотах, либо они замещают карбонатный материал обломков организмов, цемента и ранее возникшие аутигенные минералы.

Описанные авторами постседиментационные аутигенные минералы по времени и условиям образования отнесены к диагенетической и катагенетической стадиям осадочного породообразования. Четкую границу между диа- и катагенетическими преобразованиями известняков, как и других пород, провести трудно. Карбонатные породы, по-видимому, раньше других вступают на путь катагенетического развития, что связано с относительно быстрой их литификацией.

Структурно-минеральные преобразования, происходившие еще в неокаменевшем илу, следует считать диагенетическими, а более поздние изменения относить к катагенетическим. Таким образом, литификация осадка является тем естественным рубежом, который делит его постседиментационную историю на стадии диагенеза и катагенеза. Какие же процессы обуславливают окаменение карбонатного ила? Возможно, это перекристаллизация кальцита, возникшего в стадию седиментогенеза, и образование кrustификационного кальцита, цементирующего оолиты, обломки скелетных частей организмов и карбонатных пород, а в соответ-

ствующих условиях – доломитизация известкового ила. Таким образом, к диагенетическим отнесены минералы, образовавшиеся до кальцита и доломита I генерации. В качестве завершающих диагенез эти минералы выбраны потому, что, с одной стороны, рост их происходил в рыхлом обводненном осадке, о чем свидетельствует прекрасная огранка и отсутствие видимых следов деформации мелких, нередко тонких кристаллов кальцита, образующих щетки (рис.23), а с другой стороны, с их формированием разрозненные фрагменты осадка спаивались в единую массу.

Доказательством правильности высказанного предположения о том, что литификация карбонатного ила связана с образованием кальцитовых щеток, могут служить данные по современным карбонатным осадкам (Невесский, 1949; Gevirtz, Friedman, 1966). Нет оснований сомневаться в том, что описанные Е.Н.Невесским, Дж.А.Гевирцем и Дж.М.Фридманом кристаллические выделения кальцита и арагонита, морфологически весьма сходные с щетками кальцита I генерации, являются диаге-

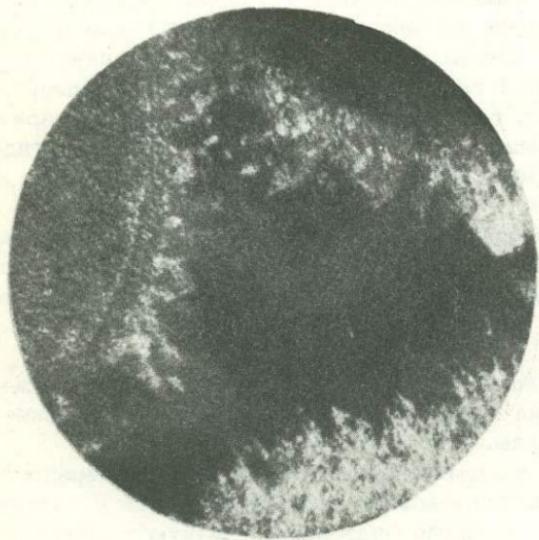


Рис.23. Щетки кристаллов кальцита I генерации, C_2^M уг., Куеда, скв.23, ув. 10×8 , николи \times

нетическими образованиями. Наблюдаемый в каменноугольных известняках кальцит представляет собой либо первичный минерал, либо парагенез по арагониту.

Диагенетические минералы рассеяны по породе и очень редко образуют совместные скопления. В связи с этим для установления последовательности их выделения приходится рассматривать не столько пространственные соотношения этих минералов, сколько физико-химические условия их образования. Конечно, такой подход представляет собой допущения, основанные на обнаруженной Н.М.Страховым и Н.В.Логвиненко (1959) закономерной смене окислительных условий восстановительными в стадию диагенеза. Очевидно, что гидроокислы железа и анатаз образовались в окислительной среде, глауконит – в переходной, а пирит в восстановительных условиях. Появление фосфата кальция не зависит

от pH среды. Он может осаждаться как в окислительной, так и в восстановительной обстановке. Это обусловлено тем, что кальций имеет постоянную валентность, а фосфор в природе всегда встречается в пятивалентной форме, т.е. в виде $(PO_4)^{3-}$ (Ронов, Корзина, 1960). Поэтому ряд минералов: гидроокислы железа, фосфаты кальция, анатаз, глауконит, пирит, — является рядом последовательности их образования.

Кратко рассмотрим форму выделения и условия образования постседиментационных аутигенных минералов.

Гидроокислы железа I генерации характерны для верейских известняков, богатых терригенной примесью. Они образуют так называемые "железистые рубашки" на обломках кварца и скелетных частей организмов (чаше раковин фораминифер), а также пигментируют микрозернистые сгустки кальцита и глинистые скопления в известняках. Выделение гидроокислов железа могло происходить из иловых растворов в начале диагенетической стадии, когда господствовали окислительные условия.

Фосфаты кальция встречаются в различных типах известняков верейского горизонта. Выделения их имеют неправильную, чаще округлую форму со следами дегидратации гелевого материала. Основным источником фосфора в иловых водах в рассматриваемом случае являются, по-видимому, захороненные морские организмы. Как известно, при жизни они концентрируют фосфор. После их смерти процессы минерализации приводят к растворению и рассеиванию фосфора и обогащению им иловых вод. При достижении необходимой концентрации фосфаты кальция способны переходить в твердую фазу при pH среды более 7,5. Как упоминалось, выпадение из раствора фосфата кальция не зависит от окислительно-восстановительной обстановки в осадке.

Анатаз встречается редко. Он образует единичные, правильно ограниченные мелкие кристаллы в известняках, обогащенных терригенной примесью (верейские и каширские отложения). Связь анатаза с терригенными компонентами известняков, по-видимому, генетическая. Источником титана служили, вероятно, титаноорганические соединения или глинистый материал известкового осадка. Выделение анатаза, являющегося трудно растворимым соединением титана высшей степени окисления, происходит в среде с окислительной или нейтральной реакцией (Полынов, Тумилович, 1936; Ренгартен, 1955).

Глауконит I генерации встречается в органогенных и обломочных известняках почти всех стратиграфических подразделений изученного разреза. Содержание его колеблется от сотых и десятых долей процента до 5-7% (верейский горизонт). Глауконит выделяется преимущественно в естественных полостях скелетных остатков организмов (камеры фораминифер, каналы иглокожих и др.). Это возможно при положении границы окислительной и восстановительной сред внутри осадка, когда только в самой верхней (приповерхностной) части господствовал окислительный режим. Глауконит образует зерна лапчатой формы, нередко рассеченные глубокими трещинками, возникшими в результате дегидратации коллоидного материала.

Об аутигенном, а не переотложенном характере глауконита свидетельствует описанная форма его выделения.

В значительно доломитизированных участках известняка зерна глауконита имеют расплывчатые контуры. На основании этого можно предположить, что доломитизация проходила позднее образования глауконита.

Пирит I генерации – весьма распространенное минеральное новообразование. Он имеет микро- и тонкозернистое строение. Форма выделения пирита: скопления, приуроченные к скелетным остаткам организмов, обуглившимся растительным тканям, глинистым прослойям, обогащенным органическим веществом, а также единичные зерна или агрегаты, неравномерно рассеянные по основной массе известняков. Иногда удается наблюдать, как пиритовые кристаллы выделяются на стенке раковины брахиоподы или на внешнем концентре оолита. Последующее обрастание таких скелетных остатков или оолитов щетками кристаллов кальцита запечатывает пирит. Такие взаимоотношения аутигенных пирита и кальцита указывают на более раннюю кристаллизацию пирита I генерации по сравнению с кальцитом I генерации.

Кальцит I генерации выделяется в трех характерных формах: 1) щетки правильно ограненных мелких кристаллов, нарастающих на скелетные остатки организмов, на обломки карбонатных пород, на сгустки микрозернистого кальцита и на оолиты; 2) регенерационные оболочки на скелетных частях иглокожих (преимущественно криноидей); 3) мелкозернистый кальцит, возникший в результате перекристаллизации седиментогенного (органогенного и хемогенного) кальцита.

Разнообразие форм выделения кальцита I генерации обусловлено неодинаковыми условиями растворения и перекристаллизации известкового осадка с различной первичной структурой и пористостью. Обилие тонко- и микрозернистого седиментационного (хемогенного) кальцита, слагающего осадок целиком или цементирующего обломки организмов, определило слабое развитие процесса растворения. Несмотря на значительную общую пористость таких илов, циркуляция вод, их растворяющих, была затруднена или отсутствовала из-за субкапиллярных и капиллярных размеров пор. Перекристаллизации подверглись лишь отдельные участки. Результатом ее явились пятна и слепые прожилки мелкозернистого кальцита среди тонкой однородной основной массы.

В микро- и тонкозернистых известняках с небольшим содержанием органогенных обломков и в органогенно-детритусовых известняках с тонко- и микрозернистым кальцитовым цементом в первую очередь перекристаллизовываются остатки организмов и прилегающие к ним участки. В органогенно-детритусовых, органогенно-обломочных и оолитовых известняках с небольшим количеством седиментогенного кальцитового цемента процесс перекристаллизации протекает интенсивно. Микро- и тонкозернистый кальцит перекристаллизовывается до мелко- или среднекристаллического, либо растворяется и переотлагается в виде щеток кристаллов и регенерационных оболочек кальцита. Форма выделения кальцита при этом обусловлена структурой скелетного остатка фауны или обломка карбонатной породы и оолита. Так, щетки кристаллов образуются на поликристаллических обломках, а регенерации подвергаются остатки иглокожих, особенно криноидей, состоящих из монокристалла кальцита.

Эта закономерность была подмечена еще в 1904 г. К.Дж. Калисом (Cullis, 1904).

Различная форма кристаллов кальцита (удлиненные и почти изометричные) может служить показателем концентрации раствора, из которого они образовались (Костов, 1965). Так, почти изометрическая форма кристаллов означает, что рост их происходил из пересыщенного раствора, тогда как удлиненные тонкие щетки возникали только при насыщении раствора.

Образование кальцита I генерации связано с диагенетическим растворением седиментогенного кальцита и его переотложением. Количество новообразованного кальцита находится в прямой зависимости от первичной пористости осадка.

Доломит I генерации довольно широко распространен в изученных известняках. Он образует правильно ограниченные ромбоэдрические кристаллы или зерна. Количество доломита сильно варьирует от единичных кристаллов до полного замещения известкового ила. Новообразованные кристаллы доломита приурочены к микро- и топкозернистому седиментогенному кальциту.

Особенности доломита — обогащенность его кристаллов включениями микрозернистого кальцита; зональное строение; различный размер кристаллов; резко меняющиеся содержания доломита даже в пределах площади одного шлифа — свидетельствуют о его метасоматической (в данном случае диагенетической), а не седиментационной природе.

Отсутствие связи доломитизированных участков с прожилками и другими секущими формами, частое чередование чистых и доломитизированных известняков и доломитов в разрезе и взаимопереходы их по простиранию дают возможность считать основную массу доломита диагенетическим формированием.

Пространственные взаимоотношения кальцита и доломита I генерации не всегда позволяют однозначно судить о последовательности их образования. Иногда удается наблюдать, как новообразованный доломит, внедряясь в скелетный обломок фауны с кrustификационной оболочкой кальцита I генерации, включает в себя реликты (контуры) кальцитовых щеток. Кроме того, доломитизированные скелетные части организмов не обрастают щеткой кальцита, тогда как пиритизированные органогенные обломки нередко кrustифицированы кальцитом. Приведенные факты говорят о более позднем выделении доломита, чем кальцита. Большая растворимость доломита по сравнению с кальцитом (Страхов, 1951, 1958) предполагает более раннее образование кальцита. Обильное содержание в доломитовых кристаллах темных точечных включений и пылевидного кальцита находится в противоречии с распространенным взглядом о том, что при доломитизации происходит очистка карбоната от примесей.

Механизм образования доломита рассмотрен многими учеными (Вишняков, 1951; Соколов, 1958; Страхов, 1951, 1956₂, 1958; Татарский, 1939; Теодорович, 1950, 1955, и др.). Материал, которым мы располагаем, позволяет считать, что основная масса доломита в изученных породах представлена доломитом I генерации и является диагенетическим формированием.

Минеральные новообразования, возникшие в стадию диагенеза, по числу минеральных видов и объему выделившегося материала уступают катагенетическим.

В стадию катагенеза выделилась довольно большая группа минералов: полевые шпаты, каолинит, халцедон и кварц I генерации, пирит II генерации, марказит, сфалерит, гидроокислы железа II генерации, кальцит и доломит II генерации, гидрослюды, глауконит II генерации, сепиолит, пальгорскит, флюорит, барит, ангидрит, кварц и халцедон II генерации, гипс.

Рассмотрим форму выделения их и возможные условия образования.

Новообразования полевого шпата широко распространены и являются непременной составной частью нерастворимого остатка известняков. Однако в шлифах они не всегда заметны. Форма выделения полевых шпатов – регенерационные оболочки и самостоятельные кристаллы. В известняках, содержащих терригенную примесь, они образуют регенерационные оболочки на обломках полевого шпата. В чистых известняках полевые шпаты выделяются в виде самостоятельных кристаллов, преобладает форма (010). Регенерационные оболочки в большинстве случаев имеют те же состав и оптическую ориентировку, что и обломок, но встречаются каемки другого состава и иной оптической ориентировки. Иногда наблюдается совместное нахождение в известняке самостоятельных новообразованных кристаллов и регенерированных обломочных зерен полевого шпата. Преобладание той или иной формы выделения полевого шпата зависит от содержания кластической примеси в известняках. По многочисленным включениям тонкозернистого кальцита в кристаллах полевого шпата можно судить о метасоматической природе полевошпатовых образований. Большинство кристаллов полевого шпата, обладая прекрасной огранкой, кородированы.

Одним из необходимых условий образования полевых шпатов является присутствие в иловой, а затем и в пластовой воде достаточных концентраций щелочей, алюминия, кремнезема. Перечисленные ионы, возможно, унаследованы из морской воды и перешли в раствор при перекристаллизации известняков. Кроме того, довольно четко проявляется связь новообразованного полевого шпата с глинистым материалом терригенного происхождения, имеющим смешанный гидрослюдисто-каолинитовый и монтмориллонитовый состав. В таких случаях создается впечатление, что кристаллы полевого шпата возникли за счет глинистой массы, обогащенной органическим веществом. Механизм этого явления еще не изучен. Возможным объяснением служит допущение взаимодействия глинистого алюмосиликатного вещества осадка с щелочами, адсорбированными из морской воды, в результате чего и возникает полевошпатовая молекула (Пустовалов, 1956 б). Помимо этого, аутогенные полевые шпаты ассоциируют с комочками гидратов окислов алюминия и кремния, имеющими вид слабополяризующих, до некоторой степени раскристаллизованных гелеобразных сгустков. При наличии щелочей они могли быть исходным материалом для образования полевого шпата.

Процесс образования полевого шпата, вероятно, растянут во времени. Начало его формирования относится к позднедиагенетической или раннекатагенетической стадии.

Аутигенный каолинит распространен сравнительно широко, он имеет ясночешуйчатое строение, иногда наблюдаются вермикулитоподобные сростки. Каолинит развивается как метасоматически по седиментогенному (хемогенному и органогенному) кальциту, так и в пустотах. Средние и крупные кристаллы кальцита II генерации замещают и включают в себя реликты каолинитовых агрегатов. Это говорит о более позднем образовании кальцита. Условия возникновения каолинита и полевого шпата близки.

Новообразования кремнезема довольно широко распространены в изученных известняках и представлены халледоном и кварцем I генерации. Халледон встречается преимущественно в известняках, лишенных заметной терригенной примеси. Он приурочен к скелетным остаткам иглокожих, брахиопод и пелеципод. В известняках с примесью песчано-алевритовых кварцевых обломков выделение кремнезема происходит в виде регенерационных оболочек на зернах кварца. В таких известняках не удавалось наблюдать новообразований халледона. Подобная картина описана С.Г. Вишняковым (1953). Аутигенный кварц образует самостоятельные мелкие кристаллы реже.

Выделение халледона и кварца I генерации происходило, по-видимому, почти одновременно из иловых, а затем пластовых вод, обогащенных кремнеземом. Различие в минералогической форме было вызвано неоднаковыми условиями образования. В известняках с примесью обломочно-го кварца уже имелись готовые центры кристаллизации и выделение кремнезема шло вокруг них.

Сферолиты халледона и прекрасно ограненные мелкие кристаллы кварца нередко содержат пылевидные включения кальцита, что позволяет судить об их метасоматической природе.

Халледон в изученных породах имеет тенденцию замещать более крупнокристаллические элементы породы, т.е. скелетные остатки иглокожих, пелеципод, брахиопод. Такая избирательная способность замещения, отмечаемая многими исследователями, дает возможность предположить, что к моменту выделения халледона, средне- и крупнокристаллического кальцита, выполняющего пустоты известняков, еще не было, так как нигде не наблюдалось замещения кальцита II генерации халледоном. В доломитизированных известняках сферолиты халледона замещают преимущественно кристаллы доломита, являясь более поздним образованием.

Накопление достаточных для осаждения концентраций кремнезема в иловой, а затем в пластовой воде происходило в результате растворения органогенного кремнезема и гидрогелей SiO_2 , поступивших в осадок. Этому способствовала щелочная или слабощелочная обстановка, возникавшая в моменты образования кальцита и доломита I генерации. Немалую роль, вероятно, играл унаследованный растворенный в морской воде кремнезем. Некоторое влияние на повышение концентрации кремнезема оказывали некарбонатные примеси, освобождавшиеся при растворении и перекристаллизации седиментогенного кальцита. В изученных породах встречаются спикиулы кремневых губок, полностью замещенные кальцитом. Кремнезем их скелета перешел в раствор. И.В. Хворова (1958) допускает, что остатки организмов, которые послужили источником SiO_2 как правило, не сохранились.

Кремнезем в воде мог находиться в виде растворимого гидрозоля и истинного раствора. Судя по сферолитовой форме выделений халцедона, он является продуктом кристаллизации геля. Кристаллический облик новообразованного кварца говорит об образовании его из истинного раствора. Можно предположить, что исходным для образования различных модификаций кремнезема был один и тот же истинный раствор. Известно, что гели вообще и, в частности, гель кремнезема, могут образоваться не только из коллоидных растворов (при коагуляции), но и из истинных в результате различных реакций и быстрого изменения условий существования растворов.

Сформулировать строгие критерии для разграничения продуктов кристаллизации гелей, образовавшихся из коллоидных и истинных растворов, не представляется возможным; колломорфные агрегаты свидетельствуют о гелевом состоянии исходного вещества, независимо от способа образования геля (Чухров, 1965). По-видимому, в случае образования халцедона имелись благоприятные условия для появления гелей из истинных растворов. Халцедон и кварц I генерации являются образованиями раннекатагенетической стадии.

В изученных известняках наблюдается тесная ассоциация аутигенных халцедона и кварца I генерации, полевого шпата, каолинита и органического вещества. Щелочные растворы, содержащие кремнезем, агрессивно действуют на гуминовые вещества. Растворение органического вещества сопровождается его окислением с выделением CO_2 , за счет которого значение pH среды падает. Повышение концентрации водородных ионов при соответствующей концентрации необходимых компонентов благоприятствовало образованию полевых шпатов, каолинита, халцедона и кварца. Сначала из растворов, содержащих щелочи, происходило выделение полевых шпатов. По мере того как расходовался запас щелочей в растворе, продуцировался каолинит. Когда истощился и глинозем, шло образование различных модификаций кремнезема. Таков, по-видимому, общий ход процесса. На отдельных участках карбонатной породы возникали различные условия и соответственно происходило выделение полевых шпатов, либо каолинита, либо халцедона и кварца I генерации.

Пирит II генерации и марказит довольно широко распространены в изученных известняках. Пирит выделяется в виде единичных, правильно ограниченных средних и крупных кристаллов кубической и октаэдрической формы или их скоплений в пустотах пород. Встречаются метасоматические образования пирита, включающие реликты вмещающей породы.

Пирит II генерации приурочен к более грубозернистым разностям известняков (органогенные, обломочные), а также к перекристаллизованным и доломитизированным участкам. Можно предположить, что пиритизация (выделение пирита II генерации) происходила позднее доломитизации. В шлифах видно, как он проникает в промежутки между ромбоэдрическими кристаллами доломита, а выделения его, расположенные между известковыми и доломитовыми участками, внедряются и в те, и в другие. По взаимоотношению пирита со средне- и крупнозернистым кальцитом, заполняющим пустоты пород, можно судить о

более раннем образовании пирита, а иногда о почти одновременном выделении этих минералов.

Марказит образует характерные игольчатые и копьевидные кристаллы и их сростки. Он находится в таких же структурных соотношениях с доломитом I генерации и кальцитом II генерации, как и пирит.

Пирит более обычен в изученных породах, чем марказит. Это связано, по-видимому, со специфическими условиями образования марказита — кислая реакция среды. Он может выделяться как из кислых, так и из нейтральных и щелочных растворов (Логвиненко, 1951).

Сфалерит образуется в пустотах известняков и метасоматическим путем. Форма его выделения — правильно ограниченные кристаллы и зернистые скопления. Новообразования сфалерита ассоциируют с кристаллическим пиритом и кальцитом II генерации, ангидритом и халцедоном; реже его кристаллы приурочены к органогенному кальциту.

Образовался сфалерит, по-видимому, одновременно или несколько позднее пирита II генерации. Механизм его возникновения, вероятно, таков. В диагенетическую стадию концентрация ионов цинка была недостаточной для выпадения его из раствора. При литификации иловые воды отжимались в пустоты пород. Наряду с другими компонентами они содержали растворимые соединения цинка. Циркулирующие воды могли извлекать сорбированный глинистым и гумусовым материалом цинк, и его растворимые соли сами обогащаясь этими компонентами. По мере изменения концентрации содержащихся веществ и физико-химических условий окружающей среды (повышение щелочности и восстановленности) появилась возможность осаждения сфалерита. Известно, что растворимые соли $(ZnCl_2, ZnSO_4, Zn(HCO_3)_2)$ могут накапливаться в слабокислых и слабошелочных водах, достигая максимума содержания при pH 5,5–6,5 (Белякова, 1961). Попадая в карбонатные породы, растворы нейтрализуются и нередко становятся щелочными, что приводит при соответствующей концентрации ионов цинка к наличию сероводорода к образованию сфалерита.

Гидроокислы железа II генерации пигментируют некоторые поздне-диагенетические скопления халцедона и глинистого матриала в пустотах выщелачивания известняков. Кроме того, они выделяются в виде мелких глобул в кристаллах кальцита II генерации или в виде примазок по их граням. Весьма часто гидроокислы железа возникают за счет окисления пирита I и II генерации. Очень четко процесс окисления пирита можно наблюдать в органогенно-детритовом известняке верейского возраста на Яринской площади (рис.24). Окислению подвергался пирит II генерации, который выделился на щетке кристаллов кальцита I генерации. Колломорфные агрегаты гидроокислов железа имеют зональное строение. Внешние, граничащие с пустотой участки окрашены в желто-бурый цвет и не содержат реликтов пирита. Следующая зона имеет красно-бурую окраску. В ней рассеяны единичные мелкие зерна неокисленного пирита. Далее расположена зона неизмененного пирита.

Выделившийся позднее кальцит II генерации запечатал пору и тем самым предохранил гидроокислы железа от разрушения. Наблюдающие-

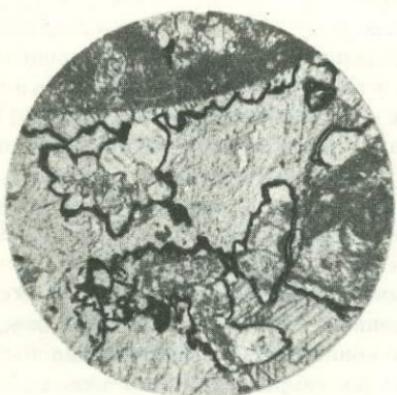


Рис.24. Гидроокислы железа II генерации, возникшие в результате окисления пириита II генерации. С₂^тvr, Ярино, скв. 152, ув. 20×10, николи II

ся примазки гидроокислов железа по граням кристаллов кальцита не мешали их росту. Они лишь очерчивали их первоначальные контуры. Для образования гидроокислов железа необходима окислительная среда. Такая обстановка могла возникнуть при выведении известняков на поверхность или при проникновении в них поверхностных вод, богатых кислородом.

Кальцит II генерации широко распространен в известняках всех стратиграфических подразделений изученного разреза. Он образует средне- и крупнокристаллические, нередко монокристаллические выделения в пустотах известняков. При интенсивной кальцитизации в крупных монокристаллах кальцита можно наблюдать реликты не полностью растворившихся органогенных остатков. Источником для образования кальцита II генерации служил местный материал – перешедший в раствор седimentогенный кальцит и в меньшей степени кальцит I генерации. Чаще всего кальцит II генерации выделялся на месте растворенного вещества, но наблюдаются случаи выноса и привноса продуктов выщелачивания. В случае выноса в известняках появляются многочисленные поры (рис.25). При этом более поздний кальцит II генерации заполняет не весь объем пор и имеет правильную огранку кристаллов (условия свободного роста). Привнос карбонатного материала обусловил сплошную цементацию известняков (рис. 26).

Доломит II генерации распространен гораздо менее по сравнению с кальцитом II генерации и доломитом I генерации. Выделяется он в тех же формах, что и кальцит II генерации. Кристаллы его отличаются поразительной чистотой и правильностью огранки.

Небольшая распространность доломита II генерации связана, по-видимому, с малым содержанием магния в растворе. Основная масса магния, существовавшего в иловой воде в стадию диагенеза, была реа-

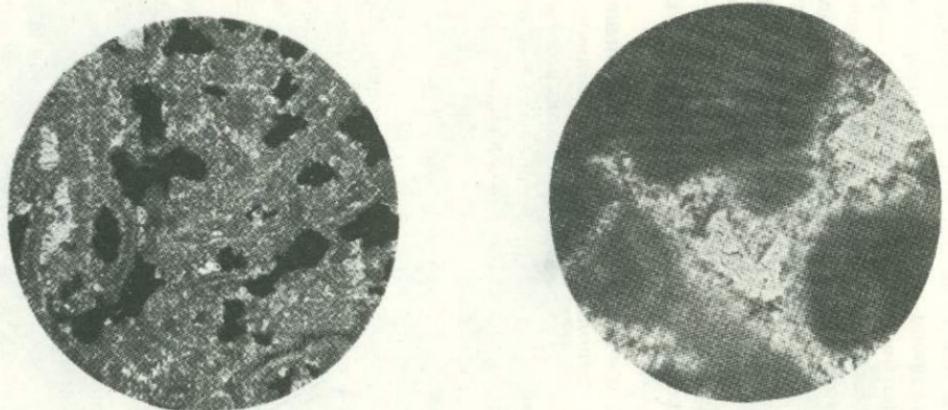


Рис.25. Пористый известняк с малым количеством кальцита II генерации. C_2^{mk} , Луховская скв. 9, ув. 9×10 , николи ||

Рис.26. Сплошная цементация известняка кальцитом двух генераций. C_2^1 , Куеда, скв.23, ув. 20×8 , николи ||

лизована в доломите I генерации. Оставшиеся малые количества его, дополненные высвободившимися при частичном растворении доломита I генерации, на отдельных участках могли создавать необходимые концентрации для выделения доломита II генерации. Возможны и другие источники местного обогащения пластовых вод магнием.

Гидрослюды встречаются довольно редко. Они выделяются в пустотах выщелачивания органогенно-детритусовых и органогенно-обломочных известняков или развиваются метасоматически по кальциту II генерации и ранее образовавшимся карбонатным компонентам. Реже гидрослюды заполняют трещинки известняков. Форма выделения свидетельствует о катагенетической природе гидрослюд. Новообразования гидрослюд внедряются в кристаллы кальцита II генерации и содержат включения кристаллического кальцита. По такому взаимоотношению гидрослюд с кальцитом II генерации можно судить о более позднем времени их образования.

В ряде образцов, подвергшихся электронномикроскопическому исследованию, по заключению Д.Д.Котельникова, обнаружены аутогенные гидрослюды. Они характеризуются удлиненной формой пластинчатых кристаллов. Нередки двойниковые и тройниковые сростки кристаллов под углом 120° (рис.27).

Глауконит II генерации встречается редко и в небольших количествах. Форма его выделения – заполнение пустот выщелачивания в известняках, замещение кальцита II генерации и выполнение небольших трещин и стилолитовых швов. Такая форма свидетельствует о катагенетической природе глауконита II генерации. Иногда глауконит встречается в ассоциации с новообразованной гидрослюдой. Наблюдаются постепенные взаимопереходы этих двух минеральных образований. Глауконит довольно интенсивно окрашен в зеленый цвет, переходные участки – в бледно-зеленый, а чистая гидрослюда бесцветна. По-видимому, образование гидрослюды и глауконита происходило почти одновременно. Близость их кристаллохимической структуры не противоречит этому. Различие в минералогической форме в данном случае обусловлено, вероятно, недостаточным содержанием ионов железа для образования одного глауконита.

Магнезиальные силикаты представлены сепиолитом и пальгорским. Спутанно-волокнистые скопления магнезиального силиката типа сепиолита заполняют пустоты выщелачивания органогенных известняков и образуют метасоматические выделения. Оптическая характеристика новообразованного сепиолита такова: $Ng = 1,528$; $Np' = 1,513$; $Ng' - Np' = 0,015$. Обычным петрографическим макро- и микроанализом сепиолит не всегда улавливается. Он выявлен в основном электронномикроскопическими исследованиями (рис.28). В связи с этим вполне вероятно, что магнезиальные силикаты такого типа распространены гораздо шире, чем мы их обнаруживаем, так как далеко не все образцы из собранной коллекции подверглись изучению на электронном микроскопе.

Пальгорсит образует волокнисто-столбчатые выделения по стилолитовому шву в микрозернистом известняке. Оптические константы, позволяющие назвать этот минерал пальгорситом, следующие: $Ng' = 1,553$;

Рис.27. Аутигенная гидрослюдя. C_2^1 ,
Каменный Лог, скв.7 (электронномик-
роскопический снимок)

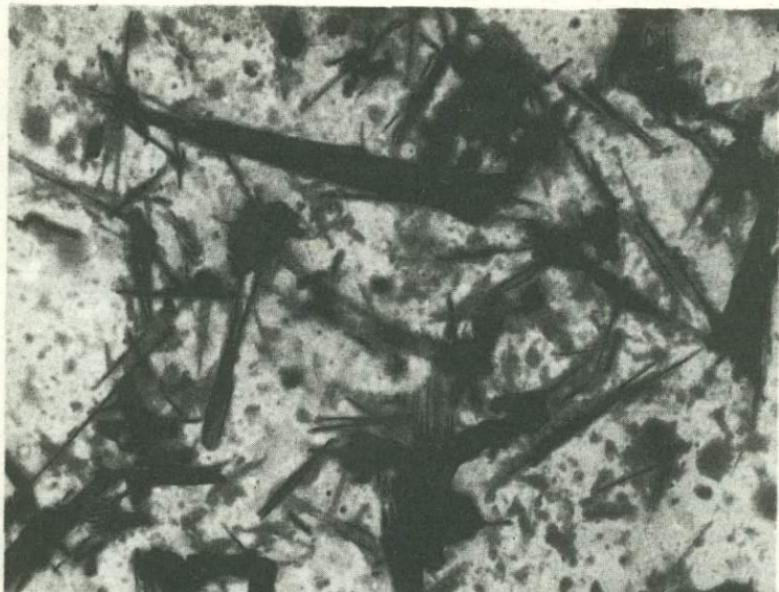


Рис.28. Магнезиальный силикат типа сениолита. $C_2^m_k$, Танып, скв. 3
(электронномикроскопический снимок)

$Np^I = 1,536$; $Ng - Np^I = 0,017$. Форма кристаллов на электронномикроскопическом снимке подтверждает это определение (рис.29).

Выделение магнезиальных силикатов в пустотах выщелачивания известняков, замещение ими кальцита II генерации, а также связь со стилолитами говорят об образовании их в катагенетическую стадию существования известняков. Об эпигенетическом характере магнезиальных силикатов сообщала Л.М.Бирина (1967). А.Е.Ферсман (1952) отнес пальмогорскиты к числу характерных минералов катагенеза.

Флюорит встречен в различных стратиграфических подразделениях изученной карбонатной толщи. Он образует хорошо ограниченные кристаллы и зернистые скопления в порах и кавернах известняков, псевдоморфозы по спикулам кремневых губок и заполняет небольшие трещинки пород. По форме выделения флюорит – типичный катагенетический минерал. Коррозия кальцита II генерации и частичное замещение его флюоритом позволяют судить о выпадении CaF_2 после кальцита II генерации. Учитывая меньшую растворимость флюорита по сравнению с ангидритом и гипсом, предполагаем его более раннее выделение из раствора. Поэтому в ряду последовательности образования аутигенных минералов флюорит занимает место между кальцитом II генерации и сульфатами бария и кальция. Более точно определить его положение не удалось. Он выпал в осадок из раствора, содержащего достаточное количество необходимых для этого компонентов, что могло быть достигнуто лишь на поздних этапах развития породы.

Обогащение вод фтором, возможно, происходило за счет растворения остатков организмов или его первичных скоплений. В изученных отложениях встречены единичные остатки раковин лингул с фосфатным скелетом. Концентрация фтора в них наибольшая (Бушинский, 1936),

Барит встречается редко. Он выделяется в порах известняков, гораздо реже образуется метасоматически. Барит осаждается раньше других сульфатов, так как растворимость его гораздо меньше, чем у гипса и ангидрита. Ограничено распространение барита связано с редко возникающими благоприятными условиями для достаточной концентрации ионов бария в изученных породах.

Сульфаты кальция довольно широко распространены в различных типах изученных известняков. Они выделяются в виде ангидрита и гипса. Ангидрит и гипс содержат многочисленные включения реликтов первоначальной породы, по структуре не отличающиеся от окружающих их неизмененных участков известняка. Сульфаты кальция замешают многие выделившиеся ранее аутигенные минералы. Это свидетельствует о метасоматической природе сульфатов кальция. Кроме того, ангидрит и гипс заполняют поры, каверны и трещины в известняках. Сульфаты кальция кородируют кальцит и доломит II генерации и включают в себя участки неизмененного кальцита. По такому соотношению их можно судить о более позднем образовании сульфатов кальция. Гипс образовался позднее ангидрита. Он нередко включает в себя сильно кородированные кристаллы ангидрита, а также развивается по периферии крупных выделений ангидрита, иногда глубоко внедряясь в них. Наблюдаются и самостоятельные, не связанные с ангидритом скопления



Рис.29. Новообразования палыгорскита. $\frac{m}{2}$, Вятская, скв.17 (электрономикроскопический снимок)

гипса. Образование гипса происходит либо из раствора, либо путем гидратации ангидрита. Считается, что гидратация ангидрита сопровождается увеличением его объема на 30–50% (Теодорович, 1958; Мурхаз, 1963). Если бы это имело место, неизбежно наблюдалось бы изменение структуры известняка на прилегающих участках, либо появление сложной мелкой складчатости в самом гипсе. В изученных породах не отмечено никаких структурных и текстурных изменений породы близ ангидритово-гипсовых выделений, а также преобразования самого гипса.

Исследованиями С.И.Парфенова (1967) довольно убедительно показано, что превращение ангидрита в гипс происходит с сохранением исходного объема. Химические различия гипсов и ангидритов вполне согласуются с представлением о гипситизации как типичном метасоматическом процессе, протекающем при неизменном объеме пород и связанным с выносом 0,4 массы исходного сульфата кальция.

Образование ангидрита и гипса было разделено во времени. Свидетельством этого служит выделение халцедона и кварца II генерации, происходившее после образования ангидрита, но до выделения гипса. В кварце наблюдаются значительно корродированные включения ангидрита. Гипс замещает преимущественно ангидрит, что связано с большей растворимостью ангидрита, чем кремнезема. Одной из возможных причин замещения ангидрита гипсом можно считать следующий процесс: выделение кремнезема II генерации повлекло за собой частичное растворение ангидрита и местное обогащение раствора ионами кальция

и сульфата. Концентрация этих компонентов на отдельных участках могла быть достаточной для осаждения гипса, в то время как раствор был недонасыщенным по отношению к ангидриту. В таких условиях возможно растворение ангидрита и осаждение гипса. В связи с этим интересно замечание А.М.Кузнецова о том, что "из растворов выщелачивания ангидрита со временем выделялись кристаллы гипса" (Кузнецов, 1947). Ангидрит и гипс в изученных породах - катагенетические образования, возникшие, вероятно, на глубине, в зоне высокоминерализованных хлоркальциевых вод, в которых растворимость сульфатов кальция снижается (Теодорович, 1963).

Халцедон и кварц II генерации приурочены к органогенно-детритусовым и органогенно-обломочным известнякам, в которых они наряду с другими катагенетическими минералами цементируют обломки. Они заполняют также трещинки известняков и развиваются метасоматически по кальциту различного происхождения и другим ранее выделившимся аутигенным минералам. Халцедон выделяется в виде агрегатов, имеющих сферолитовое строение. Кварц образует правильные ограненные кристаллы. Халцедон и кварц II генерации образовались позднее ангидрита, но раньше гипса. Пространственные взаимоотношения выделений кремнезема II генерации и ангидрита рассмотрены выше.

В изученных породах наблюдается замещение обломочного кварца, халцедона и кварца I генерации кальцитом II генерации, флюоритом и сульфатами кальция. Высвободившийся при этом кремнезем послужил, по-видимому, источником для образования халцедона и кварца II генерации. Небольшие количества кремнезема, сконцентрированные в растворе таким путем, обусловили появление локальных выделений халцедона и кварца II генерации. Поступление кремнезема извне было весьма слабым или отсутствовало, иначе вторичное окварцевание проявилось бы интенсивнее.

Для большинства аутигенных минералов, возникших в стадию катагенеза, характерны крупнокристаллическая структура и отсутствие примесей. Такие особенности свойственны продуктам медленной кристаллизации из насыщенных растворов.

Установленная последовательность образования сохранившихся аутигенных минералов, физико-химические условия кристаллизации которых достаточно хорошо известны (гидроокись железа, глауконит, пирит, кальцит, различные модификации кремнезема и др.), позволяет проследить смену обстановок в осадке и породе. Эти изменения обусловлены в основном эволюцией химического состава, окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных свойств иловых и пластовых вод во времени.

Растворение карбонатного материала

Как известно, карбонаты и сульфаты кальция сравнительно легко растворимы. Они чутко реагируют на изменение pH и других физико-химических характеристик водного раствора. Следы коррозии на се-

диментогенном кальците (скелетные остатки организмов и оолиты) и аутигенных карбонатных и сульфатных минералах позволяют связать процессы растворения с определенными стадиями существования осадка и породы.

В изученных известняках прослежено по меньшей мере три регионально развитых этапа растворения: 1) до образования кальцита I генерации; 2) до выделения кальцита II генерации и 3) после образования всех аутигенных минералов, но до заполнения коллектора нефтью.

Растворение на I этапе происходило в стадию диагенеза. О том что этот процесс действительно протекал, свидетельствует выщелоченный облик органогенных остатков и оолитов, фиксируемый последующими наростами щеток кристаллов кальцита I генерации. Основной причиной растворения карбонатного материала на I этапе было, по-видимому, понижение pH иловых вод за счет углекислоты, выделившейся в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Как известно, с количеством углекислоты неразрывно связано содержание в растворе бикарбонатов и карбонатов кальция. Растворение карбонатов протекает в начале диагенетических преобразований, когда в результате активной жизнедеятельности микроорганизмов в осадке появляется довольно много CO_2 .

Процессы растворения кальцита и его кристаллизации не быстро сменяли один другого во времени. Величина этого разрыва зависела в основном от количества органического вещества, с разложением которого связано образование углекислоты, и от скорости его преобразования.

Об интенсивности растворения на I этапе можно судить по степени корродированности скелетных остатков и оолитов и по количеству сохранившегося седиментогенного кальцита. Однако этот признак является косвенным, так как различие в содержании первичного кальцитового цемента может быть и унаследованным.

Интенсивность постседиментационного растворения связана с первичной структурой осадка. Более энергично процесс выщелачивания протекал в органогенных и оолитовых илах с небольшим содержанием седиментогенного кальцитового цемента, т.е. в первично пористых и проницаемых осадках.

Растворение на II этапе происходило в катагенетическую стадию. Оно затронуло седиментогенный (органогенный и хемогенный) кальцит и кальцит I генерации. Следы выщелачивания четко видны на участках известняка с выделениями кальцита I и II генераций. Растворение карбонатного материала происходило после образования кальцита I генерации, о чем свидетельствует частичное, иногда почти полное растворение кристаллов кальцита, слагающего щетки. Оно предшество-вало выделению кальцита II генерации, доказательством чего служит заполнение пор, ограниченных корродированными кристаллами кальци-та I генерации, монокристаллическим кальцитом II генерации (см. рис. 28).

Растворение на II этапе связано и с подкислением пластовых вод. Обогащение вод углекислотой и кислородом происходило, по-видимому, при выведении пластов на поверхность или в приповерхностную зону. О том, что породы действительно находились в хорошо аэрируемых условиях, свидетельствует окисление пирита в башкирских и верейских известняках. Катагенетические гидроокислы железа (гидроокислы железа II генерации) развиваются по пириту II генерации. При этом отмечается описанная зональность в распределении продуктов окисления пирита.

Геологические данные подтверждают высказанную мысль о региональном подъеме пластов. В среднекаменноугольную эпоху на территории Пермской области происходили периодические обмеления морского бассейна. Отмечены перерывы в осадконакоплении между нижне- и верхнебашкирским подъярусами и между башкирским и московским ярусами (Абрикосов, 1963).

Интенсивность процесса растворения на II этапе оценить труднее, чем на I этапе, так как помимо кальцита I генерации выщелачивался органогенный и хемогенный кальцит, возникший в стадию седиментогенеза. Можно лишь сказать, что более значительным растворение было в органогенных, обломочных и оолитовых известняках, неплотно скементированных седиментогенным кальцитом и кальцитом I генерации, т.е. в породах в то время пористых и проницаемых.

Растворение кальцита на I и II этапах сопровождалось его перекристаллизацией с образованием кальцита I и II генерации. Растворение на III этапе произошло после образования всех аутигенных минералов. Оно проявилось в следах выщелачивания на кальците II генерации, ангидrite и гипсе. Растворялся также и седиментогенный кальцит. Обнаружение следов растворения на гипсе (минерале, занимающем последнее место в ряду последовательности выделения аутигенных минералов) позволяет считать III этап выщелачивания наиболее поздним катагенетическим преобразованием известняков.

Растворение на III этапе обусловлено, по-видимому, также изменением pH пластовых вод. Одно из возможных объяснений этого явления – нахождение углеводородов в водах до формирования скоплений нефти и газа. Замечено, что в нефтеносных известняках кристаллы кальцита II генерации корродированы сильнее, чем в известняках без каких-либо нефтепроявлений. Возможная роль углеводородов в растворении карбонатного материала сводится к тому, что в результате сложных процессов их окисления наряду с другими продуктами образуется углекислота. Присутствие ее значительно увеличивает способность пластовых вод выщелачивать карбонаты.

Интенсивность растворения на III этапе оценить трудно, так как в первую очередь выщелачиванию подвергались органогенные и тонкозернистые карбонатные компоненты породы. Кальцит II генерации и сульфаты кальция, по которым можно было бы определить интенсивность проявления этого процесса, растворялись слабее. Отмечено, что более энер-

гичным выщелачивание было в органогенных, обломочных и оолитовых известняках с небольшим содержанием различного по происхождению кальцитового и другого минерального цемента, т.е. в более пористых и проницаемых породах.

Как видно из изложенного, постседиментационная история изученных карбонатных пород-коллекторов достаточно сложна. Она характеризуется образованием богатого комплекса аутигенных минералов, перекристаллизацией карбонатов и по меньшей мере трехкратным растворением карбонатного и сульфатного материала.

Влияние постседиментационных процессов на структуру карбонатных коллекторов

Пористость и проницаемость известняков является суммарным отражением первичной структуры карбонатного осадка и интенсивности процессов их постседиментационного изменения.

Уже в стадию седиментогенеза закладываются основные черты строения породы-коллектора. Микро- и тонкозернистые известняки, а также органогенные и обломочные известняки с обильным седиментогенным цементом изначально являются плохими коллекторами, так как капиллярный и субкапиллярный размеры пор затрудняют циркуляцию флюидов. По этой же причине они наименее преобразованы. Лишь в некоторых слаботрещиноватых разностях этих известняков наблюдаются перекристаллизация и растворение кальцита. Масштабы этих преобразований малы, и породы обычно сохраняют свою первичную микро- и тонкозернистую структуру. Единственным процессом, который может значительно видоизменить эти породы, является доломитизация.

Доломитизация (выделение доломита I генерации) микро- и тонкозернистых известковых илов приводит к увеличению пористости (объем твердой фазы доломита примерно на 5% меньше, чем у кальцита). Образовавшиеся при этом поры небольшие (0,02–0,04 мм). Форма их обусловлена окружающими кристаллами доломита. Образование диагенетических доломитов связано с метасоматическим процессом, сопровождавшимся изменением объема твердой фазы (Соколов, 1958). О дополнительной пористости, появившейся в результате доломитизации, писал Джерри Люсия (Lucia, 1962). Механизм образования пористости при доломитизации рассмотрен Уэйлом (Weyl, 1960). Исследователь предполагает, что в связи с недостаточным по сравнению с Mg^{2+} и Ca^{2+} количеством CO_3^{2-} в природных водах образование доломита происходит за счет кальцита или арагонита осадка. Чтобы увеличилось поровое пространство при доломитизации известкового осадка, необходимо отсутствие внешнего источника CO_3^{2-} . Уэйл полагает, что различие в объеме новообразованного доломита и ранее существовавшего кальцита компенсировалось уплотнением осадка до тех пор, пока кристаллы доломита не пришли в соприкосновение.

Хорошими коллекторами могут быть органогенные, обломочные и оолитовые известняки с малым содержанием седиментогенного каль-

цитового цемента. Однако они как первично пористые и проницаемые породы подверглись наиболее интенсивным постседиментационным изменениям. В связи с этим при рассмотрении реальных коллекторов подобного типа на первый план выступает оценка соотношения постседиментационных процессов, ухудшающих и улучшающих коллекторские свойства известняков. К первым относится аутигенное минералообразование, ко вторым – перекристаллизация и растворение карбонатного материала. Из богатого комплекса новообразованных минералов заметно сокращают емкости коллектора кальцит I и II генерации, различные модификации кремнезема I генерации и сульфаты кальция.

Проследив постседиментационные изменения карбонатных пород-коллекторов, можно сказать, что лучшими емкостными и фильтрующими свойствами обладают органогенные, обломочные и оолитовые известняки с небольшим содержанием седиментогенного кальцитового цемента, в которых процессы растворения карбонатного и сульфатного материала преобладали над отложением карбонатных и других минеральных новообразований.

Особенностью рассмотренных карбонатных коллекторов является длительное время формирования их порового пространства (стадии седиментогенеза, диагенеза, катагенеза).

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ АУТИГЕННОМ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИИ В ТЕРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

В изученных терригенных и карбонатных коллекторах обнаружено большое сходство в качественном составе комплекса новообразованных минералов и почти полная тождественность в последовательности их выделения. Эти две разности коллекторов имеют очень близкий возраст (нижний и средний карбон) и находятся в одном регионе — восточной части Русской платформы.

Сходство минералообразующих процессов в пористых разностях терригенных и карбонатных пород дает представление табл. 7, в которой перечислены все новообразования и показана приуроченность возникновения отдельных минералов к определенным стадиям существования пород.

Однако в карбонатных коллекторах, представленных главным образом известняками, аутигенных минералов несколько больше, чем в терригенных. В частности, в известняках широко распространены диагенетические доломит и кальцит I генерации, которые отсутствуют в терригенных коллекторах. Многообразнее в известняках и структурные преобразования, обусловленные трехкратным растворением кальцита и доломита. В структуре песчаников эти изменения геохимических обстановок не нашли отражения, за исключением случаев растворения кальцитового и сульфатного цементов. Кальцитовый цемент в песчаниках по времени своего образования соответствует кальциту II генерации в известняках. Растворение сульфатного и кальцитового цементов в песчаниках, а также кальцита II генерации и сульфатов кальция в известняках по времени почти совпадало и было приурочено к началу появления нефти в коллекторе. Возможно, выщелачивание этих минералов даже несколько предшествовало приходу нефти в пласт и было вызвано углеводородами, растворенными в пластовых водах. Этот процесс протекал и позднее по мере образования залежи, и на современном этапе в зоне контакта нефть — вода.

Как выяснено, основные различия постседиментационных изменений в коллекторах в большинстве случаев объясняются их разным литологическим составом. Кальцит, будучи сравнительно легко растворимым минералом, весьма чутко реагирует на колебания некоторых физико-химических и геохимических показателей пластовых вод. В противоположность кальциту кварцевый обломочный материал песчаников и алевролитов обладает неизмеримо более низкой растворимостью и яв-

Таблица 7

Схема постседиментационных преобразований карбонатных и терригенных коллекторов нефти

* На III этапе помимо карбонатного растворению подвергся и сульфатный материал.

ляется стойким минералом по отношению к, возможно, происходившим в пласте изменениям геохимических обстановок.

Некоторые из катагенетических минеральных новообразований, свойственных только известнякам и встречающихся в небольших количествах (гидрослюды, глауконит, сепиолит, палыгорскит и флюорит) возникли в породе после растворения карбонатного материала на II этапе. По всей вероятности, их образование в поровых пустотах пород в эту стадию обусловлено высвобождением соответствующих составных компонентов из карбонатной массы.

Несмотря на все указанные отличия, постадийное распределение аутигенных минералов имеет одинаковый характер в литологически различных коллекторах. Направленность процессов катагенного минералообразования в них одна и та же.

В карбонатных породах вторая генерация кальцита является последней, после которой так же, как и после кальцита в песчаниках, выпадают уже сульфаты кальция. Такой порядок выделения этих минералов свидетельствует о том, что поровые растворы как в песчаниках, так и в известняках достигли высокой степени минерализации, при которой возможно выпадение наиболее растворимого из сульфатных минералов — ангидрита.

Пластовые воды независимо от того, насыщают ли они терригенные или карбонатные породы, характеризовались однотипной направленностью изменения минерализации и качественного состава растворенных в них солей с течением времени. По-видимому, этим обусловлены общие черты процессов минералообразования и их последовательности в литологически разных типах пористых пород, имеющих различное происхождение (морское, прибрежно-морское или континентальное).

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД КАК ПОКАЗАТЕЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ МИГРАЦИИ НЕФТИ

Для определения относительного времени прихода нефти в терригенные и карбонатные коллекторы были использованы морфологические соотношения нефти с аутигенными минералами и форма пустот, заполненных нефтью. Первые выводы по этому вопросу были опубликованы нами в 1959 г., а затем позднее - в 1967 г. (Чепиков, Ермолова, Орлова, 1959, 1967). Отдельные попытки в этом направлении предпринимались и раньше (Миропольский, 1935; Авдусин и др., 1955). Идея определения времени заполнения пород-коллекторов нефтью посредством сравнительного изучения катагенетических новообразований в водоносных и нефтеносных частях продуктивных пластов была использована также Г.Э.Прозоровичем, З.Л.Валюженичем, Г.Н.Перозио (Прозорович, 1967; Валюженич, 1967; Перозио, 1959).

Качественный и количественный состав аутигенных минералов, их морфологические особенности отражают физико-химическую обстановку вмещающих пород, в которых происходило их образование, а последовательность выделения минералов - изменение этих обстановок с течением времени. Естественно, что появление нефти в пласте-коллекторе в какой-то момент его существования должно отразиться на формировании аутигенных минералов. Безводная нефтяная среда является весьма неблагоприятной для минералообразования. Знание условий и последовательности кристаллизации аутигенных минералов в нефтеносных породах, а также их морфологических соотношений с нефтью позволяет установить, после образования каких минералов нефть заполнила коллектор, и тем самым выяснить, существовала ли миграция нефти в стадию диагенеза или к какому этапу катагенеза она приурочена.

В нефтеносных песчаниках и алевролитах нефть контактирует чаще всего с регенерационным кварцем, как наиболее распространенным аутигенным минералом, реже - с кальцитом, доломитом и ангидритом. Иногда отмечаются тонкие пленки нефти на контактах кварцевых зерен с катагенными карбонатными и сульфатными цементами, а также по трещинам спайности и между кристаллами этих минералов, т.е. на участках, являющихся в какой-то степени проницаемыми (рис. 30). Нефтью заполнены мелкие каверны, образованные в результате выщелачивания цементирующих минералов. Кристаллы аутигенных минералов включений нефти обычно не содержат (рис.31).

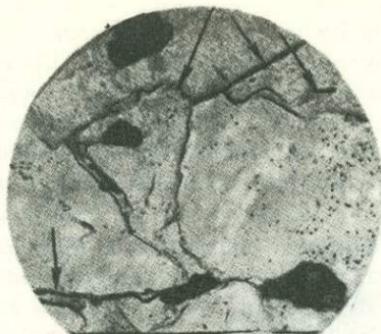


Рис.30. Участок ангидритового цемента в нефтеносном пористом песчанике (стрелками показаны пленки нефти на контактах ангидрита с обломками кварца, по трещинам спайности и контурам отдельных кристаллов ангидрита). С₁, Муханово, скв. 18, гл. 2079–2089 м



Рис.31. Светлые участки ангидритового цемента в битуминозном песчанике. С₁, Ярино, скв. 74, гл. 1640–1645 м

В карбонатных коллекторах, содержащих богатый комплекс аутигенных минералов, особый интерес представляют морфологические соотношения нефти с такими наиболее поздними катагенетическими минералами, как кальцит II генерации и сульфаты кальция. Нефть проникает по трещинам спайности и между кристаллами этих минералов. При этом нигде не было замечено включений нефти в них.

Вероятность промышленных скоплений нефти в терригенных и карбонатных коллекторах до выделения в них катагенетических минералов исключается. Присутствие ангидрита в нефтеносных породах показывает, что нефть могла заполнить коллектор только после его погружения на глубину, при которой воды достигли высокой стадии минерализации, достаточной для кристаллизации ангидрита.

В терригенных и карбонатных коллекторах иногда встречались заполненные нефтью микротрещины, которые рассекали породы, скементированные катагенетическими минералами. В случае совместного нахождения в трещине нефти и аутигенных минералов нефть везде была более поздним заполнителем.

Во всех изученных пористых неглинистых песчаниках и в пористых участках глинистых разностей нефть заполняла все свободные сообщающиеся поровые каналы, уже предварительно частично выполненные аутигенными минералами. Форма включений нефти в песчаниках и алевролитах обусловлена морфологией порового пространства.

В карбонатных коллекторах нефть находится в пустотах, имеющих различную конфигурацию и происхождение (рис. 32, а, б, в). Нефть полностью или частично заполняет первичные поры, а также вторичные пустоты, образование которых связано с процессами доломитизации, перекристаллизации и растворения карбонатного материала, оставшиеся свободными после выделения всего комплекса аутигенных минералов.

В нефтеносных известняках, имеющих изолированные кальцитом генерации поры, нефть находится только в открытых, сообщающихся пустотах. Заполнение карбонатного резервуара нефтью происходило после образования пор в результате растворения карбонатного и сульфатного материала на III этапе. Об этом свидетельствует одинаковая конфигурация пор в карбонатном коллекторе и в породе, не содержащей нефть. Последний этап выщелачивания является наиболее поздним постседиментационным процессом, преобразующим карбонатный коллектор в стадию катагенеза. Следовательно, миграция нефти относится к еще более позднему времени постседиментационной истории карбонатной породы-коллектора.

Другой возможностью ориентированного определения времени инфильтрации нефти в породу дает сравнение комплекса новообразованных минералов в водоносной и нефтеносной частях продуктивного пласта. Исходя из того, что нефтяная среда неблагоприятна для минералообразующих процессов, можно предположить, что в породах, где нефть отсутствует, они продолжаются и приводят к образованию новых минеральных видов. Детальное сравнение водоносных и нефтеносных горизонтов в пределах одного месторождения и терригенных и карбонатных пород из нефтяных и пустых структур показало, что независимо

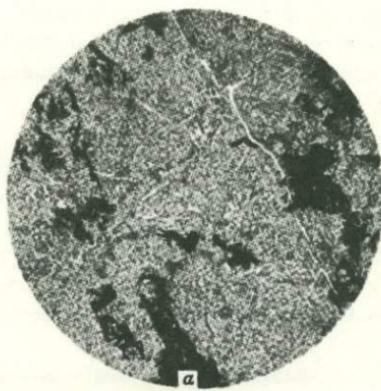
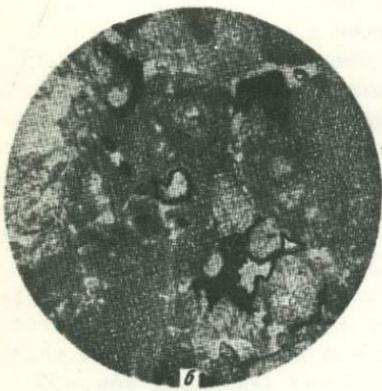


Рис.32.Форма нахождения нефти в известняках $C_2^m k$, Танып.
а - скв. 16, ув.9x10, николи ||; б - скв. 1, ув. 9x10, николи ||; в - скв. 16, ув.3,7x10, николи ||



от того, вмешали коллекторы нефть или нет, в них наблюдался один и тот же комплекс аутигенных минералов с одинаковой последовательностью их выделения. Это указывает на то, что минералообразующие процессы в коллекторах были в основном завершены до аккумуляции в них нефти. Исключение представляет пирит, который в пористых пе-
чаниках отдельных месторождений образовывался по окисленной нефти.

Все эти данные позволяют сделать вывод, что приходу нефти в тер-
ригенные и карбонатные породы предшествовал довольно длительный
период их существования, в течение которого коллекторы претерпели
разнообразные постседиментационные преобразования, частично описан-
ные выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В продуктивных пластах терригенной толщи нижнего отдела каменноугольной системы изученных нами районов Волго-Уральской области констатирован следующий комплекс аутигенных минералов: 1) фосфаты, анатаэз¹, 2) сидерит, 3) каолинит, полевой шпат, кварц, 4) пирит, сфalerит, 5) анкерит, доломит, кальцит, 6) барит, ангидрит, гипс, 7) пирит. Образование их происходило в той же последовательности, в какой дано их перечисление.

Из аутигенных минералов регионально распространенным, почти постоянно присутствующим в песчаниках и алевролитах, является кварц. Образование кварца не имеет четкой связи с глубиной залегания пород. Отчетливо наблюдается тенденция увеличения содержания аутигенного кварца при переходе от крупных к более мелкозернистым разностям песчаников и алевролитов. Кварц имеет позднедиагенетическое или раннекатагенетическое происхождение. Основная масса регенерационного кварца служит как бы пограничным минералом между диагенетическими и катагенетическими новообразованиями. Сульфиды, анкерит, доломит, кальцит, барит, сульфаты кальция как минералы, выделившиеся после кварца, — новообразования катагенетические. В неглинистых разностях песчаных пластов минералы, образованные в стадию катагенеза, в том числе и кварц, являются основными цементами.

Порядок выпадения катагенных минералов из пластовых вод, исключая сульфиды, хорошо согласуется с повышением их растворимости от кварца к ангидриту. Однотипная направленность процессов минералообразования в песчаных и алевритовых отложениях нижнего карбона во всех изученных районах обусловлена регионально прослеживаемыми одинаковым характером изменения солевого состава пластовых вод и повышением их минерализации.

В песчаных и алевритовых продуктивных пластах нижнего карбона довольно широко развит процесс растворения отдельных цементирующих минералов: ангидрита, кальцита и, возможно, доломита. Выявленна связь между растворением указанных катагенных минералов и присутствием в этих породах нефти. Главной причиной растворения ангидритового цемента в песчаниках является недонасыщение пластовых вод сульфат-ионами,

¹ Минералы объединены в группы по близости времени их кристаллизации или по сходству геохимических условий их образования.

объясняемое восстановлением сульфатредуцирующими бактериями растворенного сульфата кальция в пластовых водах нефтяных месторождений. Если растворение сульфатов кальция связано с восстановлением сульфат-ионов в пластовых водах, происходившим в присутствии нефти, и сопровождается окислением последней, то растворение кальция вызвано генерацией CO_2 при окислении нефти.

На отдельных месторождениях отчетливо проявляется явная зависимость между степенью осернения нефтей и содержанием сульфатов кальция в породах. Возможно, что осерненность рассматриваемых нефтей тесно связана с происходившими в породах-коллекторах процессами восстановления сульфатов кальция. Связывая в какой-то степени осерненность нефтей с восстановлением сульфатов кальция в породе, необходимо учитывать также размер залежи, этаж нефтеносности и химический состав нефти.

Результатом растворения некоторых цементирующих минералов в продуктивных пластах многих месторождений явилось заметное увеличение их емкости и улучшение коллекторских свойств. Обломочный материал в таких песчаниках часто корродирован и имеет свободную укладку. Поскольку растворение цемента вызвано приходом в коллектор нефти, то напрашивается естественный вывод о том, что приход нефти в песчаный пласт при определенных условиях способствует улучшению коллекторских свойств породы.

Причиной сохранения высокой пористости песчаных пород на больших глубинах в отдельных случаях может послужить и частичная регенерация обломочных зерен в раннюю стадию катагенеза. В тех же случаях, когда песчаники с самого начала не были скементированы или были слабо скементированы аутигенными минералами, в том числе и кварцем, геостатическое давление оказывает влияние на перераспределение и уплотнение обломочного материала пород, а тем самым и на емкостные свойства пород.

В органогенных, обломочных и хемогенных известняках карбонатной толщи нижнего и среднего карбона Пермской области обнаружен богатый комплекс аутигенных минералов. По времени и условиям образования они отнесены к различным стадиям осадочного породообразования.

В стадию седиментогенеза выделились тонко- и микрозернистый хемогенный кальцит, органогенный кальцит и, возможно, часть гидроокислов железа I генерации.

В диагенезе образовались гидроокислы железа I генерации, фосфаты кальция, анатаз, глауконит I генерации, пирит I генерации, кальцит и доломит I генерации. К позднедиагенетическим и раннекатагенетическим отнесены полевые шпаты, каолинит, халцедон и кварц I генерации.

В стадию катагенеза образовались пирит II генерации, марказит, сфалерит, гидроокислы железа II генерации, кальцит и доломит II генерации, гидрослюды, магнезиальные силикаты: сепиолит, пальгорскит, флюорит, барит, ангидрит, халцедон и кварц II генерации, гипс.

В известняках прослежено по меньшей мере три регионально развитых этапа растворения. Первый этап – диагенетическое выщелачивание

седиментационного кальцита. Два последующих этапа растворения приурочены к катагенезу. Растворение на втором этапе протекало после выделения кальцита I генерации, но до образования кальцита II генерации. Третий этап растворения приурочен ко времени, когда уже сформировались все аутигенные минералы, но нефть еще не заполнила коллектор.

При выявлении условий формирования порового пространства карбонатного коллектора установлено, что основными из многих факторов, влияющих на коллекторские свойства известняков, являются первичная структура известкового осадка и соотношение последующих процессов растворения и образования кальцита и доломита двух генераций, ангидрита и гипса и кремнезема двух генераций. Лучшие коллекторы — органогенно-обломочные, биоморфно-детритусовые и оолитовые известняки с небольшим содержанием седиментогенного кальцитового цемента, в которых растворение преобладало над отложениями карбонатного и другого материала.

В терригенных и карбонатных коллекторах, имеющих близкий возраст и расположенных в одном регионе, обнаружены большое сходство в качественном составе аутигенных минералов и почти одинаковая последовательность их кристаллизации. Несмотря на разную литологическую характеристику рассматриваемых коллекторов, общие черты процессов минералообразования и их последовательности обусловлены, по-видимому, однотипной направленностью изменения минерализации и качественного состава растворенных солей в насыщающих их пластовых водах.

Изучение характера морфологических соотношений нефти с аутигенными минералами в терригенных и карбонатных коллекторах показало, что приход нефти в пласт одинаково приурочен ко времени, когда в них в основном закончились минералообразующие процессы. В карбонатных коллекторах к тому времени завершились и структурные преобразования, связанные с растворением карбонатного и сульфатного материала на третьем этапе, которое имело место после выделения всего комплекса аутигенных минералов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамова Е.А. Аутигенные минералы в песчаных и алевритовых породах девона Куйбышевского и Саратовского Поволжья и их влияние на пористость пород. - Труды Ин-та нефти, т.У11, 1956.
- Абрикосов И.Х. Нефтегазоносность Пермской области. М., Гостоптехиздат, 1963.
- Авдусин П.П. Глинистые осадочные породы. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Авдусин П.П., Цветкова М.А., Кондратьева М.Г. Литология и фации палеозойских отложений Саратовского и Куйбышевского Поволжья. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Алекин О.А. и Моричева Н.П. Влияние карбонатной системы в природных водах на содержание органических веществ. - Докл.АН СССР, 1958, т.119, № 2.
- Аммосов И.И. Стадии изменения осадочных пород и парагенетические отложения горючих ископаемых. - Сов.геол., 1961, № 4.
- Апродова А.А. Каменноугольные отложения Пермского Прикамья. - В сб. "Геологическое строение и нефтеносность восточных районов Русской платформы", вып.13. М., Гостоптехиздат, 1959.
- Архангельский А.Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России. - Материалы для геологии России, 1912, т. XXУ.
- Аширов К.Б. Условия формирования нефтяных месторождений Куйбышевского Поволжья. - В сб. "Геология и разработка нефтяных месторождений", вып.2. М., Гостоптехиздат, 1959.
- Аширов К.Б. О возможных причинах различия состава и свойств нефей палеозоя (на примере Мухановского месторождения). - В сб. "Вопросы геохимии нефтеносных областей". М., ГОСИНТИ, 1960.
- Батурик В.П. К литологии Кузнецкого бассейна с кратким стратиграфическим очерком Кемеровского района. - Труды гл. геол.-геофиз. упр., 1935, вып. 55.
- Белякова Е.Е. Закономерности водной миграции меди, свинца и цинка и их значение для поисковых целей. - Сов. геол., 1961, № 1.
- Бирина Л.М. О некоторых вопросах исследования осадочных пород. - Сов. геол., 1967, № 2.
- Бушинский Г.И. К вопросу о генезисе флюорита в осадочных породах. - Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 5.
- Вайнбаум С.Я. К вопросу об окислительно-восстановительной активности нефей. - В сб. "Геология, геохимия, геофизика", вып.27. 1964.
- Вассоевич Н.Б. Основные стадии изменения осадка и породы. - В кн. "Спутник полевого геолога-нефтяника". Л.-М., Гостоптехиздат, 1952.

- Вассоевич Н.Б. Еще о терминах для обозначения стадий и этапов ли-
тогенеза. - Труды ВНИГРИ, геол. сборник, вып. 190, № 7, 1962.
- Виссарионова А.Я. Особенности разреза терригенных отложений ниж-
него карбона северо-западной Башкирии. - Геология нефти и газа,
1959, № 6.
- Вишняков С.Г. Генетические типы доломитовых пород. - Докл. АН СССР,
1951, т.78, № 1.
- Вишняков С.Г. Кремнистые образования в карбонатных породах нижне-
го и среднего карбона северо-западного крыла Подмосковного бас-
сейна. - Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 4.
- Гирин Ю.П. Геохимическая стадийность диагенеза (на примере средне-
юрских отложений Большого Кавказа). Геохимия, 1967, № 12.
- Гмид Л.П. Коллекторские свойства карбонатных пород сакмаро-артин-
ских отложений Грачевского месторождения Башкирского Приуралья
и влияние на них процессов доломитизации и сульфатизации. - В
сб. "Трециноватость горных пород и трещинные коллекторы", вып.
193, Л., Гостоптехиздат, 1962.
- Головенок В.К. Об изменении протерозойских осадочных пород Патом-
ского нагорья в процессе эпигенеза и начального метаморфизма.-
Вест. Ленингр. ун-та, серия геол. и геогр., 1957, № 12, вып. 2.
- Грачевский М.М. К вопросу о возрасте и стратиграфическом объеме
нижнекаменноугольной терригенной толщи Куйбышевского Завол-
жья. - Докл. АН СССР, 1957, т.114, № 5.
- Гуляева Л.А. и Иткина Е.С. Окислительно-восстановительный потенци-
ал и pH каустобиолитов. - Труды Ин-та нефти, т.III, 1954.
- Гуревич М.С. Некоторые факторы биогенного метаморфизма подзем-
ных вод. - Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.И.Сава-
ренского АН СССР, т.ХУ1, 1958.
- Дубянский В.В. Об овручских песчаниках. - Зап. Киевск. об-ва естест-
воиспытателей, т.XX, вып.1, 1905.
- Дэпплс Э. Поведение кремнезема в диагенезе. - В сб. "Геохимия
литогенеза", под ред. А.Б.Ронова. ИЛ, 1963.
- Егорова Н.П. Об изменении свойств нефти в залежах. - В сб. "Но-
вые данные по геологии и нефтеназоносности Волго-Уральской об-
ласти". М., Нефтегаз, ИТЭИ, 1962.
- Ермолова Е.П. О последовательности процессов минералообразования
в песчаных отложениях миоцена и олигоцена Грузии. - Докл. АН
СССР, 1953, т.90, № 2.
- Ермолова Е.П. Образование аутогенных минералов в песчаных и алев-
ритовых отложениях миоцена и олигоцена Грузии. - В сб. "Матери-
али по геологии и нефтеносности Грузии". М., Изд-во АН СССР,
1956.
- Иностранный А. Геологический очерк Повенецкого уезда Олонецкой
губернии и его рудных месторождений. - Материалы для геологии
России, т.УП, 1877.
- Каменский Г.Н. Вопросы формирования подземных вод. - Труды Лабор.
гидрогеол. проблем им. акад. Ф.И.Саваренского АН СССР, т.ХУ1,
1958.

- Козин А.Н. Основные закономерности изменения минерализации и состава пластовых вод девона и карбона в пределах Ульяновской, Куйбышевской и Оренбургской областей. - Труды ВНИГНИ, вып.22, 1959.
- Козин А.Н. О зависимости содержания сульфатных ионов и сероводорода от содержания кальция в пластовых водах нефтяных месторождений Куйбышевского Поволжья. Труды Куйбышев. НИИНП, вып.1, Куйбышев, 1960 а.
- Козин А.Н. Роль гидрохимических показателей при оценке перспектив нефтеносности в условиях платформы на примере Куйбышевского Поволжья. - В сб. "Геология, геохимия, геофизика", вып.1, Куйбышев, 1960 б.
- Копелиович А.В. Особенности эпигенеза песчаников могилевской свиты юго-запада Русской платформы и некоторые вопросы, с ним связанные. - Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 11.
- Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. - Труды ИГН, вып. 121, 1965.
- Коссовская А.Г. Минералогия терригенного мезозойского комплекса Вилойской впадины и Западного Верхоянья. - Труды ИГН, вып.62, 1962.
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Зоны эпигенеза в терригенном комплексе мезозойских и верхнепалеозойских отложений западного Верхоянья. - Докл. АН СССР, 1955, т.103, № 6.
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Фации регионального эпигенеза и литогенеза. - Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 7.
- Крамаренко Л.Е. Состав и распределение микроорганизмов в подземных водах и их поисковое значение. - В кн. "Вопросы нефтепоисковой гидрогеологии", вып.18, 1956.
- Кротова В.А. Гидрогеологические факторы формирования нефтяных месторождений (на примере Предуралья). - Труды ВНИГРИ, вып.191, 1962.
- Костов Иван. Кристаллический габитус и генезис минерала. - Изв. Геол. ин-та Болгарской АН, кн.14, 1965.
- Кузнецов А.М. О выщелачивании гипса и ангидрита. - Изв. Естеств.-научн. ин-та при Пермском гос. ун-те им. М. Горького, 1947, т.ХIII, вып.4.
- Кузнецов А.М., Старкова Г.А. О насыщенности сульфатом кальция пластовых вод палеозоя в Приуралье. - Изв. Естеств.-научн. ин-та при Пермском гос. ун-те им. М. Горького, 1952, т.ХШ, вып.6.
- Лобов В.А., Алексеев Г.И., Александров Т.Н. и др. Геологическое строение и перспективы нефтеносности и газоносности юго-восточных районов Волго-Уральской области (Куйбышевская, Оренбургская, Ульяновская обл.). - Труды Куйбышев. НИИНП, вып.5, 1960.
- Лобов В.А., Дубинин А.З., Гроссгейм Д.А. и др. Геологическое строение и нефтеносность терригенных отложений нижнего карбона Камско-Кинельской впадины. - Труды Куйбышев. НИИНП, вып.4, 1960.
- Логвиненко Н.В. Аутигенные минералы продуктивной толщи донецкого карбона. - Минералог. сб. Львовского геол. об-ва, 1951, № 5.

- Логвиненко Н.В. О некоторых особенностях метагенеза терригенных пород геосинклиналей. - Литология и полезные ископаемые. 1965, № 3.
- Логвиненко Н.В. Постдиагенетические изменения осадочных пород. Л., изд-во "Наука", 1968.
- Ломтадзе В.Д. Роль процессов уплотнения глинистых осадков в формировании подземных вод. - Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.П. Саваренского АН СССР, т.ХУ1, 1958.
- Лондон Э.С. Степень насыщения пластовых вод растворенными углеводородами и сульфатами как поисковый признак при оценке перспектив нефтегазоносности. - Геология нефти и газа, 1964, № 11.
- Лучицкий В.И. О микроскопическом строении некоторых третичных песчаников Южной России. - Зап. Киевск об-ва естествоиспытателей, т. ХУП, вып. 1, 1901.
- Марковский Н.И. О палеогеографии нижневизайского времени в районах Среднего Поволжья и Заволжья. - Докл. АН СССР, 1955, т.104, № 4.
- Маслов В.П. Карбонатные проблематики (оолиты, онколиты, копролиты, сгустки и т.п. микрообразования). Труды ИГН, серия геол., вып. 155, № 66, 1955.
- Мжачих К.И. Некоторые вопросы метаморфизма нефти в пластовых условиях. - В сб. "Геология и разработка нефтяных месторождений", вып. 2. М., Гостоптехиздат, 1959.
- Миклухо-Маклай М. О микроскопических наблюдениях случая метаморфоза песчаника в кварцит. - Зап. Минералог. об-ва, вып.24, 1887.
- Миропольский Л.М. Характеристика минерального комплекса и основных геохимических процессов в пермских отложениях у с. Слюкоеево. - Уч. зап. Казан. гос. ун-та им. В.И. Ленина, серия геол., т.95, кн. 3-4, вып. 5-6, 1935.
- Миропольский Л.М. К общей характеристике первичной и вторичной минерализации в девонских отложениях на юго-востоке Татарии. - Уч. зап. Казан. гос. ун-та им. В.И. Ленина, т.144, кн. 8, 1954.
- Мирчинк М.Ф., Хачатрян Р.О., Громека В.И. и др. Тектоника и зоны нефтегазонакопления Камско-Кинельской системы прогибов. М., изд-во "Наука", 1965.
- Муравьев В.И. Эпигенетические изменения мезозойских отложений востока Русской платформы. - Изв. АН СССР, серия геол., 1962.
- Мурхауз В.В. Практическая петрография. ИЛ, 1963.
- Надежкин А.Д. Стрельникова М.В. О коллекторах терригенной толщи С1 Арланского нефтяного месторождения. - В сб. "Новые данные по геологии и нефтегазоносности Волго-Уральской области". М., ИТЭИНефтегаз, 1962.
- Невесский Е.Н. Литифицированные ракушечники и известковые пески некоторых участков побережья Черного и Каспийского морей. - Труды Ин-та океанологии АН СССР, т.4, 1949.
- Павлова С.Н., Дриашкая З.В., Мхчиян М.А. и др. Нефти восточных районов СССР (справочная книга). М., Гостоптехиздат, 1962.
- Парфенов С.И. Особенности гипситизации ангидритов. - Литология и полезные ископаемые. 1967, № 3.

- Перельман А.И. Катагенез. - Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 8.
- Перозио Г.Н. Эпигенетическая зональность в терригенных породах мезоя центральной части Западно-Сибирской низменности. - Докл. АН СССР, т.135, 1960.
- Перозио Г.Н. Эпигенез терригенных осадочных пород юры и мела центральной и юго-восточной частей Западно-Сибирской низменности. - Автореф. дисс. канд. наук АН СССР, ИГН, М., 1964.
- Перозио Г.Н. Эпигенетические преобразования в песчаниках и алевролитах юры и мела Западно-Сибирской низменности. - Литология и полезные ископаемые, 1966, № 3.
- Познер В.М. Каменноугольные отложения. - В сб. "Волго-Уральская нефтеносная область", вып. 112, Л., Гостоптехиздат, 1957.
- Познер В.М. К стратиграфии нижнего карбона Камско-Кинельской впадины. - Труды ВНИГРИ, вып. XIУ. Л., Гостоптехиздат, 1959.
- Полынов Б.Б. и Тумилович Л. Титан в коре выветривания. - В кн. "Академику В.И.Вернадскому к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности". Изд-во АН СССР, 1986.
- Преображенский И.А. Об аутигенных минералах и минералообразовании. - Труды ИГН, вып. 40, серия петрogr., 1941, № 13.
- Прозорович Г.Э. К методике определения времени формирования месторождений нефти по эпигенетическим изменениям пород продуктивных пластов. - Бюлл. НТИ, серия "Геология месторождений полезных ископаемых, региональная геология", 1967, вып. 2.
- Прозорович Г.Э., Валюженич З.Л. Определение времени формирования залежей в пластах Б₁ и Б_{II}-Б_{III} Усть-Балыкского месторождения нефти по регенерации кварца и пелитизации полевых шпатов песчаников. - Бюлл. НТИ, серия "Геология месторождений полезных ископаемых, региональная геология", 1967, вып. 2.
- Пустовалов Л.В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии. - Проблемы сов.геол., 1933, вып. 1.
- Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород, ч. I, II. М.-Л., Гостоптехиздат, 1940.
- Пустовалов Л.В. Вторичные изменения осадочных горных пород и их геологическое значение. - Труды ИГН, вып. 5, 1956 а.
- Пустовалов Л.В. О вторичных полевых шпатах в осадочных породах (обзор главнейшей литературы). - Труды ИГН, вып. 5, 1956 б.
- Раабен В.Ф. Закономерности изменения свойств нефтей по стратиграфическому разрезу палеозоя в пределах Волго-Уральской области и методика их изучения. - Сов. геол., 1963, № 5.
- Радкевич Г. О меловых отложениях Подольской губернии. - Зап. Киевск. об-ва естествоиспытателей, вып. 2, т.Х1, 1891.
- Раузер-Черноусова Д.М., Хачатрян Р.О., Яриков Г.М. Каменноугольная система. - В кн. "Геология СССР". т.Х1, М., изд-во "Недра". 1967.
- Рейнфельд Э.А. Биохимические процессы в водах и нефтях продуктивной толщи. - Науч-исслед. работы нефтяников, вып. 5, М.-Л., Гостоптехиздат, 1947.
- Ренгартен Н.В. Новообразования минералов титана в песчаных породах угленосных свит. - Докл. АН СССР, 1955, т.102, № 1.

- Ронов А.Б., Корзина Г.А. Фосфор в осадочных породах. - Геохимия, 1960, № 8.
- Рухин Л.Б. Окаменение осадочных пород. - Вестник ЛГУ, № 7, серия. биол., геогр. и геол., вып. 3, 1953.
- Рухин Л.Б. О некоторых закономерностях эпигенеза. - В кн. "Вопросы минералогии осадочных образований", кн. 3-4. Изд-во Львовск. ун-та, 1956.
- Симакова Т.А., Колесник З.А. Бактерии пластовых вод, нефтей и пород нефтяных месторождений СССР. - Труды ВНИГРИ, вып. 199, 1962.
- Соколов Д.С. Формирование пористости и кавернозности растворимых пород. - Изв. высших уч. завед., "Теология и разведка", 1958, № 1.
- Страхов Н.М. Известково-доломитовые фации в современных и древних водоемах (опыт сравнительно-литологического исследования). - Труды ИГН, вып. 124, серия геол., № 45, 1951.
- Страхов Н.М. Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования. - Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5.
- Страхов Н.М. К познанию диагенеза. - В кн. "Вопросы минералогии осадочных образований", кн. 3-4, Изд-во Львовск. ун-та, 1956а.
- Страхов Н.М. О типах и генезисе доломитовых пород (состояние знаний). - Труды ИГН, вып. 4, 1956б.
- Страхов Н.М. Факты и гипотезы в вопросе об образовании доломитовых пород. - Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 6.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза, т. I, II, М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза, т. III, М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Страхов Н.М., Логвиненко Н.В. О стадиях осадочного породообразования и их наименования. - Докл. АН СССР, 1959, т. 125, № 2.
- Страхов Н.М., Залманзон Э.С., Глаголева М.А. Очерки геохимии верхне-палеозойских отложений гумидного типа. - Труды ИГН, вып. 23, 1958.
- Сулин В.А. Воды нефтяных месторождений в системе природных вод. М.-Л., Гостоптехиздат, 1946.
- Сюндюков А.З. Карбонатные отложения верхнего девона Западной Башкирии. - Башкирский фил. АН СССР, Горно-геол. ин-т. Уфа, 1961.
- Татарский В.Б. Литология нефтеносных карбонатных пород Средней Азии и происхождение нефтеносных доломитов. - Труды НГРИ. серия А, вып. 112, 1939.
- Теодорович Г.И. Минералы осадочных пород как показатели физико-химической обстановки. - В сб. "Вопросы минералогии, геохимии и петрографии". М.-Л., Изд-во АН СССР, 1946.
- Теодорович Г.И. Литология карбонатных пород палеозоя Урало-Волжской области. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1950.
- Теодорович Г.И. К вопросу о происхождении осадочных известково-доломитовых пород. - Труды Ин-та нефти АН СССР, 1955.
- Теодорович Г.И. Аутигенные минералы осадочных пород, М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Теодорович Г.И. К геохимии аутигенных минералов осадочных отложений. - Сов. геол., 1963, № 12.

- Теодорович Г.И., Хачатрян Р.О., Соколова Н.Н. Новые данные по стратиграфии и литологии терригенных отложений нижнего карбона Среднего Поволжья. - Докл. АН СССР, 1958, т.123, № 5.
- Теодорович Г.И., Соколова Н.Н., Розанова Н.Д., Багдасарова М.В. Минералого-геохимические фации терригенных отложений нижнего карбона основной части Урало-Волжской области. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Тимофеева З.В. Основные черты аутигенного минералообразования четвертичных и плиоценовых отложений. - Труды ИГН, вып. 115, 1963.
- Успенский В.А., Радченко О.А. К вопросу генезиса типа нефтей. - Труды ВНИГРИ, новая серия, вып. 19, 1947.
- Успенский В.А., Инденбом Ф.Б. Геохимическая характеристика нефтей и других битумов. - В сб. "Волго-Уральская нефтеносная область", вып. 107, Л., Гостоптехиздат, 1957.
- Фадеев М.И. К стратиграфии терригенных отложений нижнего карбона Куйбышевского Поволжья. - Труды ВНИГРИ, вып. 22, 1959.
- Фадеев М.И. Карбонатные коллекторы нефти в каменноугольных отложениях Куйбышевского Поволжья. - В сб. "Геология, геохимия, геофизика", вып.26, Куйбышев, 1964.
- Ферсман А.Е. Геохимия России, вып. 1. Научн.хим.-техн.изд-во. Пг., 1922.
- Ферсман А.Е. Исследование в области магнезиальных силикатов. - Изд-бр. труды, т.1. Изд-во АН СССР, 1952.
- Фролов В.А., Надежкин А.Д. Некоторые закономерности нефтегазоносности каменноугольных и пермских отложений Зап.Башкирии. Труды ВНИГРИ, № 7, вып. 190, 1962.
- Хачатрян Р.О., Чепиков К.Р. Камско-Кинельская впадина. - В кн."Геология СССР", т.Х1, М., изд-во "Недра", 1967.
- Хворова И.В. Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Чепиков К.Р., Ермолова Е.П., Орлова Н.А. Эпигенные минералы как показатели времени прихода нефти в песчаные промышленные коллекторы. - Докл. АН СССР, 1959, т.125, № 5.
- Чепиков К.Р., Ермолова Е.П., Орлова Н.А. О коррозии кварцевых зерен и случаях возможного влияния нефти на коллекторские свойства песчаных пород. - Докл. АН СССР, 1961, т.140, № 5.
- Чепиков К.Р., Ермолова Е.П., Орлова Н.А. Некоторые результаты изучения аутигенных минералов с целью определения относительного времени прихода нефти в породы-коллекторы. - В кн. "Генезис нефти и газа" (Доклады, представленные на Всесоюзное совещание по генезису нефти и газа, Москва, февраль 1967). М., изд-во "Недра", 1967.
- Чичуя Б.К. К вопросу определения этапов и общего объема катагенетических изменений осадочных пород. - Сов. геол., 1966, № 3.
- Чухров Ф.В. К состоянию вопроса о роли коллоидов в рудообразовании. - Сов. геол., 1965, № 2.
- Шаронов Л.В., Ларионова Е.Н. Новые данные о геологическом строении Камско-Кинельской впадины в Пермской области. - Нефтегазовая геология и геофизика, 1963, № 2.

- Швецов М.С. Петрография осадочных пород. М.-Л.-Новосибирск, Горно-геол.нефт. изд-во, 1934.
- Швецов М.С. Петрография осадочных пород. М.-Л. Госгеолиздат, 1948.
- Швецов М.С. О некоторых вторичных изменениях известняков. - Труды МГРИ, т.33, 1958.
- Швецов М.С. Процессы, превращающие осадки в породы и изменяющие породы (гальмировлиз, диагенез, экзодиагенез, метадиагенез). В кн. "Вопросы литологии и минералогии осадочных пород". Баку, Изд-во АН Аз.ССР, 1962.
- Шутов В.Д. Эпигенетическая зональность палеозойских и рифейских отложений Пачелмского прогиба. - БМОИП, новая серия, отдел. геол., т.35, вып. 6. Изд-во МГУ, 1960.
- Шутов В.Д. Зоны эпигенеза в терригенных отложениях платформенного чехла (на примере изучения рифейских и палеозойских отложений юго-восточной части Русской платформы). - Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 3.
- Conley K.F., Bundy W.M. Mechanism of gypsumification. - Geochim. et cosmochim. acta, 1958, v. 15, 57.
- Cullis C.G. The mineralogical changes observed in the cores of the Funafuti borings. Report of the Reef Committee of the Roy. Soc. London, The Royal Soc., 1904.
- Gevirtz J.L., Friedman G. M. Deep-sea carbonate sediment of Red Sea and the implications on marine lithification. - Y. Sediment. Petrol., 1966, v.30, N 1.
- Lucia J. Diagenesis of a crinoidal sediment. - J. Sediment. Petrol., 1962, v. 32, N 4.
- Weyl P.R. Porosity through dolomitization: conservation of mass requirements. - J. Sediment. Petrol., 1960, v. 30.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Постседиментационные преобразования терригенных коллекторов	7
Краткие литолого-стратиграфические сведения	7
Характеристика аутигенных минералов	8
О растворении некоторых цементирующих минералов в продуктивных пластах	27
Влияние постседиментационных процессов на структуру песчаных и алевритовых пород	39
Постседиментационные преобразования карбонатных коллекторов	46
Краткие сведения о стратиграфии, нефтеносности карбонатной толщи и ее литологическая характеристика	46
Аутигенное минералообразование	51
Растворение карбонатного материала	66
Влияние постседиментационных процессов на структуру карбонатных коллекторов	69
Некоторые общие соображения об аутигенном минералообразовании в терригенных и карбонатных коллекторах	71
Постседиментационные преобразования терригенных и карбонатных пород как показатели относительного времени миграции нефти	74
Заключение	79
Литература	82

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Утверждено к печати
Министерством нефтедобывающей промышленности СССР
Институтом геологии и разработки горючих ископаемых

Редактор Н.А. Платов
Технический редактор В.И. Дьяконова

Подписано в печать 21/П-72
Формат 60x90 1/16 Усл.печ.л. 5,75 Уч.-изд.л. 6,3
Т-03852 Тираж 800 Бумага № 1 Цена 53 к. Тип.зак. 908

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука".Москва К-62, Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства "Наука"
Ленинград В-34, 9-я линия, 12

3
53 K.

315