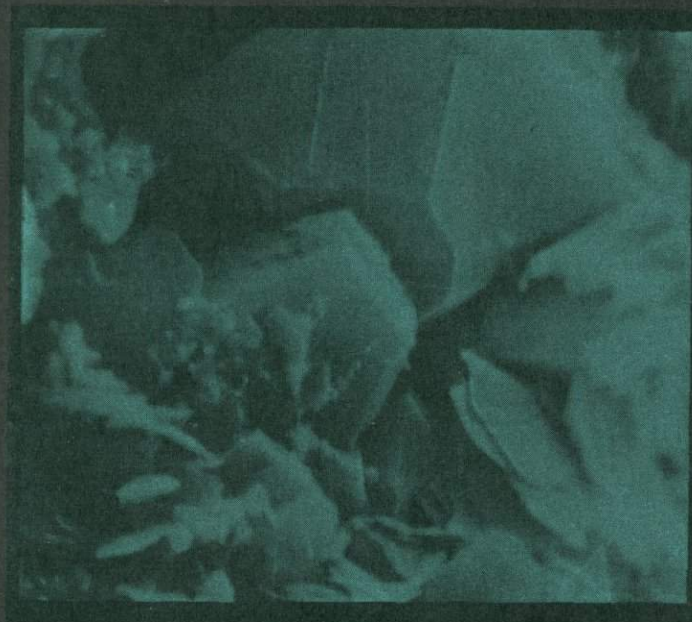


ДЕФОРМАЦИОННЫЕ
И КОЛЛЕКТОРСКИЕ
СВОЙСТВА
ПОРОД КОЛЛЕКТОРОВ
ДЕВОНА
ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ
ВПАДИНЫ
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРАХ



Издательство
•Наука•

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

552.5

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ
И КОЛЛЕКТОРСКИЕ
СВОЙСТВА
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ
ДЕВОНА
ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ
ВПАДИНЫ
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРАХ

2254



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА • МОСКВА 1977



Деформационные и коллекторские свойства пород-коллекторов девона Днепровско-Донецкой впадины при высоких термодинамических параметрах.
М., "Наука", 1977, 112 с.

В книге обобщены результаты комплексных исследований минералого-петрографических особенностей, деформационных и фильтрационных свойств пород-коллекторов девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины и изменения коллекторских свойств пород под действием объемных напряженных состояний и температур, типичных для условий их залегания. Выявлены зависимости упругих изменений деформационных свойств (коэффициентов сжимаемости пород и их порового пространства, пористости) и коэффициентов проницаемости наиболее типичных литологических разностей терригенных коллекторов девона от глубины их залегания, которые могут быть использованы для прогноза деформационного поведения и фильтрационных возможностей пород на больших глубинах, в том числе еще не освоенных бурением.

Изучено также влияние неравномерного объемного сжатия, характерного для некоторых тектонически активных участков земной коры, на деформационные свойства пород, позволяющие судить о развитии в породах трещиноватости, а следовательно, и о процессе формирования коллекторов трещинного типа. В заключение дана характеристика терригенных коллекторов девона и оценены возможности нефтегазонакопления в различных геотектонических зонах Днепровско-Донецкой впадины.

Табл. 11, ил. 17, библи. - 66 назв.

Авторы

Н.Н.ПАВЛОВА, В.Ф.ИНДУТНЫЙ, Р.А.КОНЫШЕВА, Г.Е.КУЗЬМЕНКОВА

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР *М.Ф. Мирчинк*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение коллекторских свойств пород глубокозалегающих отложений нижнего карбона и девона Днепровско-Донецкой впадины и их изменений под действием объемных напряженных состояний и температур, типичных для условий залегания, приобрело в последние годы важное значение в связи с высокими прогнозными оценками этих отложений, в том числе на больших глубинах.

Общие запасы нефти в нижнем карбоне Днепровско-Донецкой впадины достигают 50%, а газа — 45,5%, в том числе на глубинах свыше 3 км нефти — 18,9%, газа — 15,5% (Поляк, 1975).

Прогнозные запасы девонских отложений в интервале глубин их залегания от 1,5 до 5–6 км оценены соответственно в 14,3% по нефти и 4,5% по газу.

Определение перспектив нефтегазонасности глубокозалегающих отложений карбона и девона и подсчет геологических запасов нефти и газа, приуроченных к ним, основываются на результатах всестороннего изучения пород-коллекторов и их физических свойств, включающих минералого-петрографические исследования, определение коллекторских свойств в атмосферных условиях, а также оценку влияния пластовых условий на комплекс деформационных, физических и фильтрационных характеристик пород-коллекторов.

Изучение свойств коллекторов глубокозалегающих отложений проводится по плану общей проблемы промышленной нефтегазонасности девона Днепровско-Донецкой впадины, разрабатываемой научно-исследовательскими и производственными организациями Министерства геологии и институтов Академии наук УССР.

К решению раздела проблемы, связанного с оценкой коллекторских свойств пород девона в термодинамических условиях, типичных для глубин залегания, привлечен сектор экспериментальной геомеханики Института геологии и разработки горючих ископаемых Министерства нефтяной промышленности и АН СССР, отвечающий за выполнение работ этого раздела совместно с лабораторией литофизики Института геологических наук АН УССР.

Настоящая работа обобщает результаты первого этапа экспериментальных исследований, посвященного изучению влияния пластовых условий на деформационные свойства и проницаемость типичных для различных стратиграфических подразделений девона литологиче-

ских разностей терригенных пород-коллекторов. Проведению этих трудоемких исследований предшествовало изучение литолого-петрографических особенностей и коллекторских свойств большого числа пород из разрезов девона в различных геотектонических зонах Днепровско-Донецкой впадины, позволившее научно обоснованно подойти к подбору материалов для исследований при высоких термодинамических параметрах.

В результате такого подхода не только оценены упругие изменения деформационных свойств (коэффициентов сжимаемости и пористости) и коэффициентов проницаемости пород различных литогипов на глубинах их залегания, но и дан прогноз деформационного поведения пород на глубинах, еще не освоенных бурением, вплоть до 8-10 км.

В небольшом объеме изучено влияние неравномерного объемного напряженного состояния, характерного для тектонически активных участков земной коры, на величину пустотного пространства пород и развитие в них трещиноватости.

В заключительной части работы оценены перспективы нефтегазоносности девонских отложений отдельных структур на основе комплексного изучения свойств коллекторов.

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ
О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ
ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ
ВПАДИНЫ**

Территориально Днепровско-Донецкая впадина, представляющая собой тектоническую структуру первого порядка, расположена в пределах юго-западной части Русской платформы, между северным склоном Украинского и южным склоном Воронежского кристаллических массивов.

Длина впадины около 500 км, ширина от 135 км по линии Харьков - Лозовая и до 70 км в районе Чернигова. На юго-востоке впадина сочленяется со складчатым сооружением Донецкого кряжа, а на северо-западе - с Белорусским выступом.

Впервые вопросы формирования Днепровско-Донецкой впадины рассматривались в работах Н.Д. Борисяка (1867, 1905), А.В. Гурова (1888).

М.М. Тетяев (1926, 1933) позднее развивал гипотезу образования Днепровско-Донецкой впадины как крупной межгорной геосинклинали между Украинским и Воронежским кристаллическими массивами, являющимися ядрами размытых герцинских сооружений.

Л.Ф. Лунгерсгаузен (1941) связывал образование Днепровско-Донецкой впадины с тангенциальными движениями, направленными со стороны Украинского кристаллического щита. Гипотезу о блоковом строении впадины, образовавшейся в результате вертикальных колебательных движений фундамента по разломам глубокого заложения, выдвинул А.П. Карпинский (1883, 1894, 1919). Она получила развитие в работах ряда исследователей: Д.Н. Соболева (1949) Н.С. Шатского (1952), А.А. Богданова и др. (1947), В.Г. Бондарчука (1961), С.И. Субботина (1958, 1960), И.А. Балабушевича (1945), В.Б. Соллогуба (1958), М.В. Чирвинской (1958), М.В. Чирвинской и др. (1966, 1970).

В процессе многолетнего изучения геологического строения впадины и накопления фактических геолого-геофизических материалов ведущая роль подвижек отдельных блоков фундамента в процессе формирования этой геологической структуры получает все более широкое признание (В.К. Гавриш, Н.Ф. Балуховский, В.Я. Клименко, С.Е. Черпак и др.). Тем не менее многие вопросы формирования Днепровско-Донецкой впадины так же, как и ее строения, до сих пор остаются дискуссионными. К таким вопросам, в частности, относится время заложения Днепровско-Донецкой впадины.

Так, А.Д. Архангельский (1941), В.Я. Клименко (1957), М.В. Чирвинская (1958) начало формирования впадины связывают с девонским временем. Л.Ф. Лунгерсгаузен (1941), В.Б. Порфирьев (1941) относят время образования впадины к нижнему палеозою.

В последние годы, когда большая часть территории Днепровско-Донецкой впадины уже покрыта геофизическими исследованиями и значительным числом глубоких скважин, вскрывших кристаллическое основание, некоторые исследователи выдвигают новые представления о строении впадины, изложенные в работах М.В. Чирвинской (1966, 1970), С.Е. Черпака (1960), В.К. Гавриша (1969, 1974) и других авторов.

Считая, что для структуры впадины характерно блоковое строение фундамента с доминирующей ролью глубинных разломов северо-западного простирания, М.В. Чирвинская относит Днепровско-Донецкую впадину к авлакогенам.

В.К. Гавриш рассматривает впадину как рифт, т.е. крупный грабен, ограниченный разломами типа нормальных сбросов (Гавриш, 1974), а время ее заложения относит к рифею или девону.

Основными элементами авлакогена (по М.В. Чирвинской) являются: 1) Припятско-Днепровско-Донецкий сложный грабен; 2) северный борт - склон Воронежского кристаллического массива; 3) южный борт - склон Украинского кристаллического массива.

В пределах авлакогена выделяются также структуры второго порядка: 1) Припятский грабен; 2) Черниговско-Брагинский выступ; 3) Днепровский грабен; 4) зона сочленения впадины с Донецким складчатым сооружением; 5) Донецкое складчатое сооружение.

В настоящей работе рассматривается только один структурный элемент авлакогена - Днепровско-Донецкий грабен, или, как принято его называть, Днепровско-Донецкая впадина. В пределах впадины выделяются структурные элементы второго порядка: южная и северная краевые зоны и центральный грабен. Эти структуры формировались на протяжении всей истории развития впадины. К структурам третьего порядка фундамента, осложненным в свою очередь структурами четвертого порядка, относятся блокообразные, в разной степени приподнятые выступы (например, Кошелевский, Плисковско-Лысогоровский, Брусиловский, Монастыришенский и др.).

Элементы кристаллического фундамента впадины выявлены в результате интерпретации и обобщения геолого-геофизических данных (гравиметрии, магниторазведки и сейсмики). В настоящее время кристаллический фундамент вскрывшим большим числом глубоких поисково-разведочных скважин, что также дало возможность уточнить представление о его строении, особенно в северо-западной части впадины.

Предполагается, что уровень среза фундамента уменьшается с запада на восток, в сторону его погружения, вплоть до зоны сочленения впадины с Донецким складчатым сооружением. Здесь, по геофизическим данным, глубина погружения фундамента достигает 12-15 км.

В отличие от центрального грабена, бортовые части впадины характеризуются пологим моноклинальным залеганием кровли фундамента с увеличением углов наклона от периферической части в сторону краевых разломов.

В пределах бортовых частей вырисовываются поперечные выступы и впадины, такие, как Кулажинский, Ядловско-Трактемировский, Кременчугский, Самаринско-Волчанский выступы, Дравовская и Царичанская впадины на южном борту, а также Миллеровский выступ и Восточно-Харьковская депрессия — на северном.

Строение зон сочленения бортовых частей впадины с центральным грабеном очень сложное. Здесь отмечаются как крупноамплитудные (3-4 км), так и малоамплитудные, иногда совсем затухающие нарушения, образующие ступенчатобразный переход бортовых частей впадины к грабену. Крупные нарушения, протягивающиеся по всей длине впадины, являются, как предполагает М.В. Чирвинская, наиболее молодыми разломами. Они и обрамляют границы современного грабена.

Отмечается определенная закономерность в распределении выступов и впадин в пределах центрального грабена, особенно в его северной краевой зоне. Здесь зафиксированы впадины: Грибоворудненская, Седневская, Холмская, Красиловская, Дмитриевская, Роменская, Синевская, Качановская, Ахтырская, Валковская, Шевченковская. Глубины залегания фундамента в этих впадинах колеблются от 4 до 11 км, в то время как выступы фундамента в той же зоне имеют глубины от 2 до 9 км при общей тенденции к погружению в юго-восточном направлении.

В южной краевой зоне впадины группируются в Придукско-Радченковскую и Санжаро-Перещепинскую зоны. Здесь же, в юго-восточной части, установлены Решетилковский и Орельский выступы, влияющие на облик Санжаро-Перещепинской зоны. Седловины возвышаются над впадинами на 1-2 км.

В северо-западной части впадины в основном преобладают положительные формы в рельефе фундамента. Здесь, а также южнее выделяются две гряды продольных выступов: северная гряда включает Черниговский, Кошелевский, Плисковско-Лысогоровский, Талалаевский, Литово-Долинский, Зеньковский, Груньский, Трудолюбровский и Балаклеийский. Последние залегают на разных глубинах. Так, на Черниговском выступе кристаллические породы вскрыты на глубине 1,5 км, в то время как глубина залегания Балаклейского выступа, по данным геофизики, ближе к 10 км.

В южной гряде зафиксированы выступы: Видельцевский, Монастырищенский, Леляковский и Октябрьский, залегающие на глубинах 4-8 км.

В некоторых местах обе гряды сливаются с выступами краевых частей или объединяются между собой, образуя блоки больших размеров в основном поперечного направления. К таким блоковым структурам относятся Лохвицкая, Сребнянская, Лютенская, Кошелевская.

В центральной зоне грабена, особенно в ее юго-восточной части, в рельефе фундамента развиты впадины: Ичнянская, Сребнянская, Петрово-Роменская, Лютенская, Солоховская, Чутовская, Павловская, Новомечетбиловская и Дружковская. Глубина залегания фундамента в этих впадинах достигает 5–12 км, а возможно, и более.

На северо-западе центрального грабена отмечены Радульская, Скоропецкая и Нежинская впадины, примыкающие к Черниговскому и Кошелевскому выступам. Глубина залегания фундамента здесь составляет 4–5 км.

Кроме указанных наиболее крупных элементов, во впадине имеется довольно большое количество мелких структурных пликативных и дизъюнктивных форм в рельефе фундамента, обусловленных множеством разломов различного направления и глубины заложения. Детальное рассмотрение продольных и поперечных глубинных разломов в пределах Днепровско-Донецкой впадины приводится в работах В.К. Гавриша (1969, 1974).

Суммируя все изложенное, следует подчеркнуть, что по современным представлениям Днепровско-Донецкая впадина характеризуется весьма сложным строением кристаллического основания, что находит свое отражение как в строении осадочного чехла, так и в термодинамических условиях, характеризующих различные геоструктурные зоны впадины.

Анализ палеотемператур, определенных по отражательной способности витринита (Аммосов, 1968), так же как и современных температур, свидетельствует о существенной дифференциации Днепровско-Донецкой впадины по условиям формирования продуктивных толщ карбона и девона и последующего их преобразования.

Установлены скачкообразные изменения коллекторских и фильтрационных свойств пород в зонах резких изменений отражательной способности витринита, в частности, наиболее сильно выраженное в зоне перехода от Днепровско-Донецкой впадины к Донбассу, меньшие, но заметные, — на различно смещенных блоках (Карпов и др., 1975; Лукин и др., 1975).

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Первый прогноз девонских отложений в Днепро-Донецкой впадине был дан в работах В.И. Лучицкого (1917), А.Д. Архангельского (1932) и других исследователей. В 1937 г. А.М. Кушуба нашел в брекчированных породах Исачковского соляного купола фауну, подтверждающую их девонский возраст.

Выявление девонских отложений во впадине привело к расширению целенаправленных геолого-геофизических работ по поискам нефтяных месторождений в прикупольных зонах солевого диапиризма, а позже — по изучению структурного плана глубокозалегающих горизонтов. Небольшой накопленный фактический материал по девонским отложениям впадины впервые обсуждался на конференции в г. Киеве (1939) (доклады В.Б. Порфирьева, А.М. Кушубы, Д.Н. Соболева, Н.С. Шатского и др.).

На конференции 1940 г. Л.Ф. Лунгерсгаузен выступил с сообщением о взаимосвязи Днепро-Донецкой впадины с Донецким бассейном и о возможном развитии во впадине не только пород девона, но и силура. В последние предвоенные годы девонские отложения были обнаружены и в Припятской впадине.

В послевоенный период на совещании по нефти, озокериту и горючим ископаемым УССР (1947) вопросы геологического строения и перспектив нефтегазоносности девонских отложений Днепро-Донецкой впадины были подвергнуты детальному обсуждению.

Позднее в работах М.П. Кожич-Зеленко и В.А. Хоменко (1959) были рассмотрены литологические особенности, а также фауна и флора девона Днепро-Донецкой впадины и Припятского прогиба. Ими выделены отложения среднего и верхнего девона. Возраст солей датирован как живетский и франский.

В эти же годы публикуется ряд работ В.Г. Бондарчука, В.Я. Клименко и др., посвященных рассмотрению геологического строения девонских образований впадины.

Впервые материалы по девонским отложениям Днепро-Донецкой впадины обобщены в монографии "Геологическое строение и газонефтеносность Днепро-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донецкого бассейна" (1959).

В пятидесятых годах девонские отложения в Днепро-Донецкой впадине были вскрыты на нескольких площадях (Петривцевской, Черниговской, Михайловской, Зачепиловской и др.).

Систематическое изучение девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины было начато в шестидесятых годах, что было обусловлено развитием техники бурения глубоких и сверхглубоких скважин, а также новых методов геофизических исследований. К этому времени относятся первые данные о дифференциации пород разреза девона по физическим свойствам.

В этот период девонские отложения были вскрыты на полную мощность на некоторых площадях северо-западной и прибортовой юго-восточной частей впадины, в связи с чем появились сведения о полной стратификации отложений девонской системы на отдельных участках. Начиная с 1969 г. в печати появляются работы не только о расчленении и стратификации пород девона впадины, но и о закономерностях строения пород девонского комплекса, перерывах в осадконакоплении и физических свойствах пород (Бригченко и др. 1973; Пистрак, Лященко, 1970; Пашкевич, 1970; Доленко и др., 1968; Чуприн и др., 1966; Беляев и др., 1971; Индутный и др., 1972; Гавриш, 1969, 1974, 1975; Балуховский и др., 1969).

В семидесятых годах группой оперативного анализа греста "Черниговнефтегазразведка" под руководством А.Д. Бригченко обобщены новые данные по стратиграфии, литологии и пространственному развитию девонских отложений северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины. Аналогичные работы по центральной части впадины выполнены под руководством И.В. Галицкого. В эти же годы в Украинском научно-исследовательском геологоразведочном институте (УкрНИГРИ) под руководством Н.Е. Чуприна, В.И. Савченко и П.И. Жилового проведено обобщение материалов по истории развития впадины в девонское время, геологическому строению региона и перспективам нефтегазоносности отложений подсолевого и межсолевого комплексов девона глубокопогруженных депрессий и перегибов между ними.

Большой вклад в изучение пород девонского комплекса был внесен геофизиками. Наземные геофизические исследования во впадине относятся к тридцатым годам. В эти годы в результате магнитной и вариометрической съемки были получены первые представления о солянокупольных и эффузивных телах в Днепровско-Донецкой впадине и были описаны Роменский, Дмитриевский, Логовиковский, Позняковский и Исачковский штоки соли.

В послевоенные годы геофизические работы были продолжены и развиты. С помощью методов магнитометрии и электроразведки были выявлены наиболее крупные тела эффузивных пород.

Планомерные гравиметрические исследования, начатые в 1949 г., помогли установить основные тела соляных штоков во всей впадине. Дальнейшие работы по гравиметрии, которые проводились уже в шестидесятых годах, мало изменили границы развития солевых пород и в основном были направлены на освещение вопросов тектоники.

Примерно в эти годы началось планомерное изучение структурного плана девонских отложений сейсмометрическими методами, в частности методом отраженных волн (МОВ), корреляционным мето-

дом преломленных волн (КМПВ и др.). Эти работы проводились в комплексе с другими геофизическими методами с целью уточнения строения кристаллического фундамента и осадочного чехла впадины, в том числе девонских отложений. Структурные построения по надсолевому комплексу девонских отложений выполнены на Леляковской, Омбишской, Монастыришенской, Малодевицкой, Видельцевской, Хомовской, Прилукской, Носовской, Лосиновской и других площадях.

В последние годы выполнены фрагментарные структурные построения по подсолевому девону на северо-западе и в южной краевой зоне впадины. Эти построения, несмотря на их схематичность, дают общее представление о структурном плане подсолевого девона на глубинах, доступных для бурения в настоящее время.

Геофизические исследования последних лет позволили построить структурные карты и схемы девонских отложений впадины (Чирвинская и др. (1966, 1970) и другие авторы).

Так, в 1970 г. были составлены схематическая карта литологических комплексов девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины в масштабе 1:500 000, а также карта гипсометрии кристаллического фундамента.

Планомерное изучение девонских отложений с целью установления перспектив их нефтегазоносности начиная с 1965 г. координируется Министерством геологии УССР (П.Ф. Шпак, С.П. Витрин, А.М. Палий, В.Г. Демянчук). В сентябре 1969 г. был утвержден перспективный план работ по оценке перспектив нефтегазоносности девона на 1971-1975 гг. и намечены первоочередные объекты для бурения. Выбор этих объектов основывался на рекомендациях научно-исследовательских организаций, результаты которых широко обсуждались на совещаниях и симпозиумах (Львов, 1964; Чернигов, 1966; Алма-Ата, 1969; Львов, 1971).

Материалы этих совещаний изложены в работах Г.Н. Доленко, В.И. Китька, И.В. Гринберга, В.Б. Порфирьева, В.К. Гавриша, Н.Ф. Балуховского и других, а также обобщены в монографии П.Ф. Шпака, В.К. Гавриша и других.

В последние годы выполнены большие исследования физических и коллекторских свойств пород девонского комплекса Днепровско-Донецкой впадины.

Систематически проводятся работы по изучению физических и коллекторских свойств пород девона в грестах "Черниговнефтегазразведка", "Полтавнефтегазразведка" и "Харьковнефтегазразведка".

Исследования физических и коллекторских свойств пород девона выполняются также в УкрНИГРИ, ИГН АН УССР и Украинском научно-исследовательском институте по нефтяной добыче (УкрНИИПНД).

Несмотря на большой объем исследований девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины, до настоящего времени в девоне было открыто только одно, незначительное по запасам Роменское нефтяное месторождение, хотя нефтегазопроявления, иногда значительные, отмечены на многих площадях, что свидетельствует о перспективах нефтегазоносности девона.

Основной причиной отрицательных результатов поисков нефти и газа в девоне впадины является все еще недостаточная изученность бурением всей толщи девонских отложений. Метраж и число скважин, вскрывших девонские отложения, распределяются следующим образом: надсолевой девон - 14,2% (38 скв.), верхний соленосный - 2,6% (20 скв.), межсолевой - 29,7% (175 скв.), нижний соленосный - 39,2% (129 скв.) и подсолевой - 14,3% (61 скв.).

Такие перспективные части разреза, как подсолевые и межсолевые отложения, вскрыты малым числом скважин (44% от их общего числа). Преимущественное большинство скважин пробурено в северо-западной части впадины, т.е. на участках сравнительно неглубокого погружения осадков девона.

В центральной части впадины, где девонский комплекс пород залегает на глубинах 6-7 километров и более, отложения девона почти не изучены, хотя многие исследователи считают эту часть впадины наиболее перспективной.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Представления о структурно-тектонических особенностях девонских образований впадины основываются преимущественно на материалах геофизических исследований, в основу интерпретации которых положена резкая дифференциация полифациальных комплексов пород по их физическим свойствам.

В девонских отложениях Днепровско-Донецкой впадины широко развиты разновозрастные вулканогенные породы, характеризующиеся, как правило, повышенными значениями плотностных магнитных и акустических характеристик, а также соленосные формации со собственными им пониженными значениями плотностей и практической немагнитностью. Эффузивные, эффузивно-терригенные и соленосные образования удовлетворительно картируются наземными комплексными геофизическими методами исследований и в первую очередь — магнитометрическими, гравиметрическими и сейсмометрическими. Электроразведочный метод является вспомогательным.

Применение геофизических методов для изучения внутреннего строения девонских отложений не всегда позволяет получить достоверные данные, особенно на тех участках, где в разрезе имеются несколько генераций солей и эффузивов.

Так, сведения о структурном плане подсолевых отложений, полученные по данным сейсморазведки и частично бурения, позволили провести лишь фрагментарные построения структурных карт по отдельным площадям. Условно во многих случаях отбиваются и стратиграфические границы карбон-девон, девон-(рифей?), что также затрудняет изучение девонского комплекса пород как геологического объекта.

Современная граница распространения девонских отложений в общем плане повторяет контуры Днепровско-Донецкой впадины и в большинстве случаев совпадает с краевыми разломами (кроме северо-западной части, где она располагается значительно севернее зоны краевых разломов).

Минимальные мощности девонских образований (до 1 км) отмечаются на выступах кристаллического фундамента в прибортовых частях (Брагинский, Белоцерковский, Павлоградский).

В центральном грабене мощность отложений девона увеличивается, достигая 2,5 км. Здесь часто отмечаются зоны размыва девонских отложений (Кошелевский, Брагинский выступы).

Максимальные мощности девонского комплекса (5–6 км) зафиксированы в центральной и юго-восточной частях впадины в зонах наибольшего погружения фундамента (Сребнянская, Лютенская, Солюховская впадины).

В зоне сочленения Днепровско-Донецкой впадины с Донецким складчатым сооружением (профиль КМПВ Курехово-Ровеньки) мощность девонского комплекса достигает 6 км, а глубина залегания кристаллического основания составляет 17 км. В основном изменение мощности осадочных образований девона зависит от структурного плана фундамента, амплитуды вертикальных перемещений отдельных его блоков, перемещения солевых масс и степени размыва пород.

В пределах Днепровско-Донецкой впадины девонские отложения представлены образованиями эйфельского, живетского, франского и фаменского ярусов среднего и верхнего отделов (табл. 1).

Самыми древними осадочными образованиями девона являются отложения пярнуско-наровского горизонта эйфельского яруса, выделенного по данным палинологических и петрографических исследований (Бритченко, 1973; Пистрак, 1973). Сложены пярнуско-наровские слои песчаниками и аргиллитами с прослоями доломитов, а также включениями вулканогенных пород. Максимальная мощность этих слоев около 50 м зафиксирована на Грибоворуднянской площади.

Отложения живетского яруса представлены в основном карбонатно-глинистыми, в меньшей мере песчанистыми разностями пород с небольшими пропластками эффузивов, отнесенных к старооскольскому горизонту. Вскрыты они в северо-западной части впадины, а также в скважинах Остаповско-Белоцерковского выступа (Пистрак, Ляшенко и др., 1970). Мощность старооскольских отложений в пределах северо-западной части составляет 30–60 м.

Франский ярус подразделяется на нижний и верхний подъярусы. В нижнефранском подъярусе выделены нижнешигровский (аналог пашийско-кыновских слоев), верхнешигровский (саргаевский) и рудкинско-семилуцкий горизонты. В северо-западной части впадины отложения нижнешигровского горизонта вскрыты на Грибоворуднянской, Пакульской, Брусиловской и Гуньковской площадях, они представлены пестроцветной терригенной толщей, а в пределах Белоцерковской площади – брекчированными породами с обломками известняков и эффузивов. В разрезах этих же площадей и северо-западной части впадины встречены отложения верхнешигровского (саргаевского) горизонта, представленные преимущественно доломитизированными известняками с прослоями аргиллитов (общая мощность до 77 м).

В южной краевой зоне эти отложения отсутствуют. Наиболее полный разрез верхнешигровских отложений вскрыт скважинами на Белоцерковской, Терновщинской и Калайдинцевской площадях.

Отложения рудкинско-семилуцкого горизонта встречаются только в северо-западной части впадины (Грибоворуднянская, Брусиловская, Мринская и другие площади). Они представлены глинисто-

Таблица 1

Схема сопоставления стратиграфических разрезов девона ДДВ

Система		Отдел	Ярус	Польярус	Литологический комплекс	Северо-западная часть ДДВ (Бритченко и др., 1973)	Северо-западная часть ДДВ (Бритченко, Супрунюк, 1972)	Данные Пистрак и др. (1973)
Девонская	Верхний	Фаменский	Верхне-фаменский	Надсоле-певой	Горизонт	Данковский Лебедевский	Горизонт	Свита, горизонт
			Нижне-фаменский	Межсоле-певой	Елецкий	Елецкий	Калайдинцевская	
								Задонский
			Подсолевой	Нижний соле-носный	Ливенский Евлановский	Евлано-Ливенский	Удайская	
								Воронежский
		Алатырский			Алатырский	Багачанская		
							Семипукский Рудкинский	Семипукский
		Сарагаевский	Верхнешигровский	Верхнешигровский или Хворостянский				
					Кыновский Пашийский	Нижнешигровский	Нижнешигровский (титанский)	
	Старооскольский	Старооскольский	Старооскольский					
				Пярнуский Наровский	Пярнуско-Наровский	Наровский Пярнуский (эквивалент ряжских и марсовских)		
	Средний	Эйфельский	Живетский					

карбонатными разностями с небольшим содержанием псаммитовых пород. Эти образования девона Р.М. Пистрак (1973) характеризует как типичные отложения платформенной области, сопоставимые с образованиями центральной части Русской платформы. Семилукским образованиям северо-западной части синхронна белоцерковская свита, вскрытая скважинами в районе Белоцерковского выступа и представленная мощной толщей вулканогенно-осадочных пород.

Верхнефранский подъярус включает алатырский, воронежский и евлановско-ливенский горизонты.

В северо-западной части впадины отложения алатырского горизонта, представленные глинисто-терригенными породами, залегают на размытой поверхности верхнешигровских и рудненско-семилукских отложений. Аналогом этих отложений в южной краевой зоне является багачанская свита (мощностью от 37 до 294 м), залегающая с размывом на отложениях белоцерковской свиты и представленная в нижней части глинисто-песчанистыми, а в верхней — сульфатными и галогенными разностями пород.

Воронежский горизонт выделен только в северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины. На Грибоворуднянской площади разрез воронежского горизонта сложен эффузивно-терригенными образованиями (Бритченко, 1973).

Нижняя часть разреза алатырского горизонта представлена глинисто-карбонатными породами, иногда с прослоями туфов и туфитов, верхняя — эффузивно-туфогенными породами. В северо-западной части впадины в кровле верхнефранских отложений залегают мощные толщи евлановско-ливенского горизонта, представленные соленосными и эффузивно-соленосными образованиями с пропластками глинисто-терригенных пород (площади Мринская, Холмская, Видельцевская и др.). Встречаются также разрезы, полностью представленные туфогенными породами (Талалаевская площадь).

В южной краевой зоне впадины аналогом воронежских слоев является исачковская свита, представленная глинисто-карбонатными породами, к которой в северо-западной части впадины Р.М. Пистрак относит верхнефранскую вулканогенную толщу.

В центральной погруженной части впадины исачковская свита составлена ритмично чередующимися карбонатно-глинистыми и терригенными образованиями с небольшим содержанием галогенных пород.

В пределах Исачковской площади Р.М. Пистрак, А.И. Лященко и др. (1970) выделили удайскую свиту, которая является страгиграфическим аналогом нижнего соленосного комплекса Припятской впадины. Разрез этой свиты представлен мощными (20–150 м) пластами каменной соли с прослоями мергелей, доломитов, ангидритов и песчаников, мощность которых увеличивается вверх по разрезу. Общая мощность удайской свиты в разрезе Исачковской площади (скв. 7) составляет 709 м.

Фаменский ярус в Днепровско-Донецкой впадине характеризуется чрезвычайно разнообразным литологическим составом и сложными фаціальными взаимоотношениями. Здесь встречены терригенные, кар-

бонатные, соленосные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования. В объеме фаменского яруса выделены нижнефаменский и верхнефаменский подъярусы, включающие более дробные стратиграфические единицы.

В основании нижнефаменского подъяруса залегает задонско-елецкий горизонт, в состав которого входят межсолевой и часть верхнего соленосного комплекса. Характерными литологическими разностями задонско-елецкого горизонта являются терригенные образования, реже - эффузивно-терригенные (пл. Олишевская, Ладинская). Задонский и елецкий горизонты входят в состав калайдинцевской свиты, которая выделяется как возможный аналог межсолевых отложений Припятской впадины.

В Днепровско-Донецкой впадине известно три типа разрезов калайдинцевской свиты. К первому относятся разрезы, в которых преобладают терригенные и глинистые породы (Калайдинцевско-Петрицевская, Олишевская, Видельцевская, Белоцерковская площади). В северной краевой зоне развиты карбонатные породы (площади: Боровская, Ивашковская, Новотроицкая, Грибоворуднянская и др.). Третий тип разреза - вулканогенный и вулканогенно-осадочный (площади: Седневская, Березнянская, Олишевская, Видельцевская и др.). Вскрытая в разрезах скважин на Березнянской, Максаковской, Адамовской, Видельцевской, Ладинской и Олишевской площадях соленосная толща относится к елецким отложениям. Среди соленосных пород в разрезах скважин на Богдановской площади встречены прослойки диабазов.

Завершающими этап осадконакопления в девоне являются данково-лебедянские надсолевые отложения. Данково-лебедянский горизонт верхнефаменского подъяруса известен только в северо-западной части впадины. Вскрыт он на Анисовской, Ладинской, Видельцевской, Ивановской, Вергиевской и Олишевской площадях и представлен мощными толщами (800-2000 м) эффузивных и эффузивно-терригенных пород. Эффузивы весьма разнообразны по составу - от основных до кислых. Из весьма краткого описания следует, что девонские отложения Днепровско-Донецкой впадины в общем характеризуются быстрой сменой фаций и мощностей, обусловленной блоковым строением кристаллического фундамента, вулканизмом и соляным диапризмом.

2254



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ДЕВОНА

Минералого-петрографическое изучение свыше 500 литологических разностей пород из разрезов девона, приуроченных к различным геоструктурным зонам Днепровско-Донецкой впадины, а также анализ материалов ранее проведенных исследований, обобщенных в монографии (Шпак и др., 1973), позволили в первом приближении охарактеризовать разновозрастные комплексы девонских отложений.

На рис. 1 представлена схематическая карта с обозначением площадей отбора кернового материала. На рисунке видно, что керн представляет разрезы девонских отложений в 35 структурах, приуроченных к разным геотектоническим зонам, а нижнекаменноугольных отложений — в 12 структурах.

Наибольшее число образцов (~90%) отобрано из верхнедевонских отложений (надсолевого, верхнесолевого, межсолевого и нижнесолевого комплексов), тогда как средний девон (подсолевой комплекс) представлен небольшим числом образцов.

По глубинам залегания отобранный материал характеризует интервалы от 1,5 до 5,1 км в девонских отложениях и от 1,4 до 4,5 км в разрезе нижнего карбона.

Ниже приводится краткое минералого-петрографическое описание пород, представляющих различные комплексы разреза девонских отложений.

Подсолевой комплекс девона. Породы подсолевого комплекса изучались главным образом по разрезам скважин на структурах, расположенных в северо-западной части впадины и краевых зонах центральной ее части: Репкинской (скв. 219); Брусиловской (скв. 3, 4); Березнянской (скв. 1); Городищенской (скв. 500); Петривцевской (скв. 5, 7, 10); Остапьевско-Белоцерковской (скв. 1, 2, 4, 230, 231, 232, 233); Грибоворуднянской (скв. 1, 2, 3, 217, 655), а также в скважинах, пробуренных на сейсмическом профиле Сорокошичи-Репки (1, 2, 3, 217, 655, 651, 654).

По литологическим признакам в подсолевом комплексе выделяются (снизу вверх) три основные толщи: терригенная, глинисто-карбонатная и эффузивно-туфогенная.

Терригенная толща входит в состав пярнуско-наровского и старооскольского горизонтов живецкого яруса и нижнешигровского (пашийско-кыновского) горизонта франского яруса. В изученных разрезах мощность терригенной толщи не превышает 150 м.

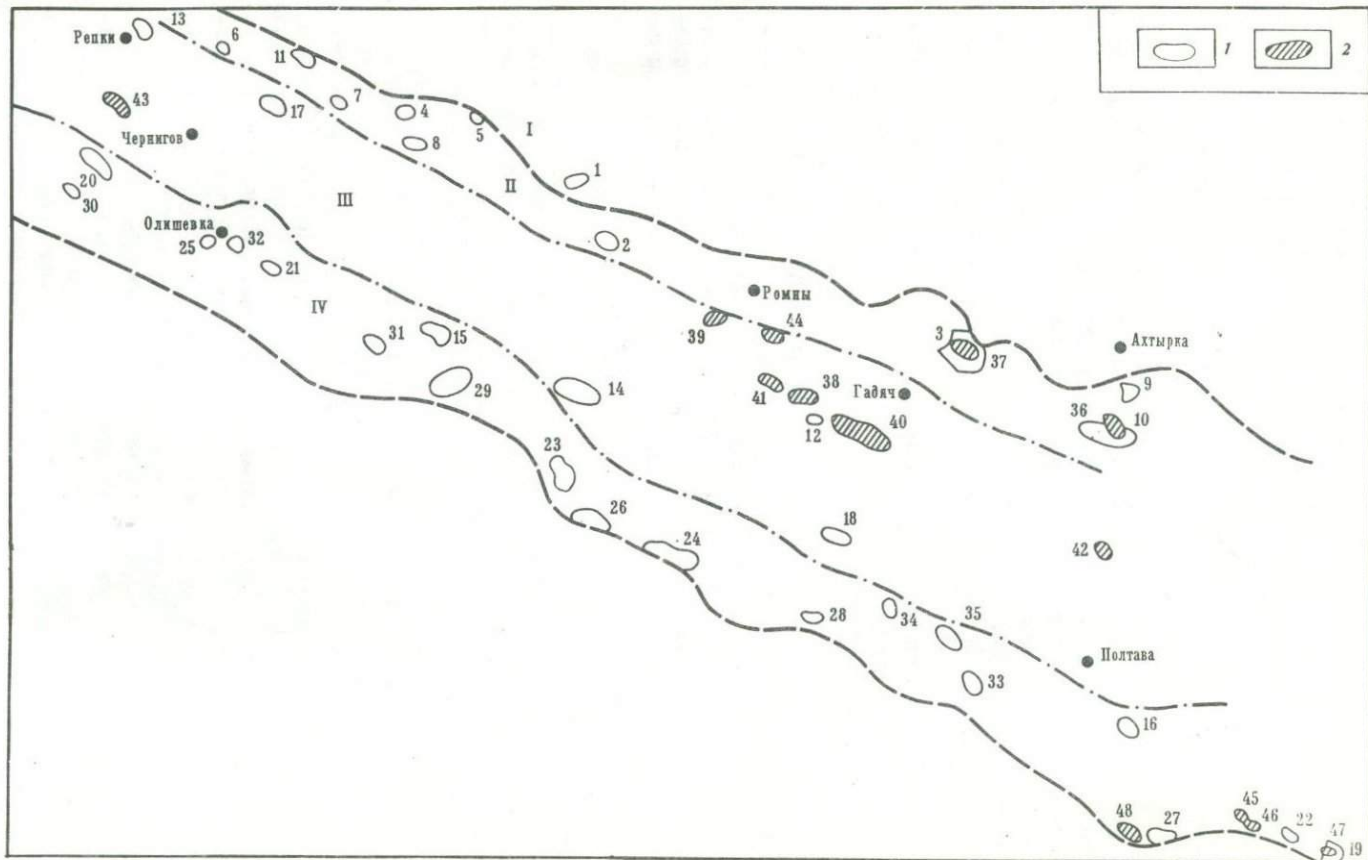
Нижняя часть отложений девона в Днепровско-Донецкой впадине выделяется условно по аналогии с Припятским прогибом, где последние установлены достоверно по фауне брахиопод, пеллеципод, эстерий рыб и спорово-пыльцевым методом.

В разрезах скважин Грибоворуднянской и Городищенской площадей вскрыты песчаники бурой и темно-бурой окраски, разномерные, в основном полевошпатово-кварцевого состава, плохоотсортированные. Только в верхней части разреза последние становятся более однородными по зернистости. Толща песчаников переслаивается небольшими по мощности пачками пестрых зеленовато-серых аргиллитов и темных глин, алевролитов, реже доломитов, известняков, мергелей.

Породами-коллекторами в разрезе данной толщи являются песчаники, реже алевролиты. Они полевошпатового и кварцевого состава, иногда (Петривцевская, Великобогачанская площади) с примесью обломков эффузивных пород. По структуре песчаники мелко- и среднезернистые, часто разномерные, до гравелитов (в прибортовых частях впадины и на ее бортах: скв. 651 профиля Сорокошичи - Репки, 500 - на Городищенской площади, 220 - на Калайдинцевской). Цемент песчаников - контактно-порового, порового и базально-порового типа, по составу - глинистый (гидро-сплодистый, каолинитовый) и глинисто-карбонатный, местами кремнисто-железистый.

Содержание глинистой фракции от 10 до 40%, общая карбонатность от 2 до 26%.

Емкостные и фильтрационные особенности песчаников в целом невысокие, характерные для III-V классов по классификации А.А.Ханина (1963) или V-VII, иногда IV классов коллекторов по классификации И.А. Мухаринской (УкрНИИГаз). Открытая пористость их обычно колеблется в пределах 2-12%, проницаемость редко превышает десятки миллидарси. По промыслово-геофизической характеристике отдельные небольшой мощности пласты песчаников как возможные коллекторы выделяются в разрезах Брусиловской (скв. 2), Шаповаловской (скв. 301), Пакульской (скв. 227), Калайдинцевской (скв. 220), Остапьевско-Белоцерковской и других площадей. Наиболее полно литология и коллекторские свойства песчаников подсолевой терригенной толщи изучены в разрезе Грибоворуднянской площади. В составе толщи встречаются кварцевые хорошо- и среднеотсортированные разности песчаников с открытой пористостью до 15%. Под микроскопом в поровом пространстве песчаников самого нижнего пярнуско-наровского горизонта отмечается присутствие тяжелого вязкого нефтяного битума, а по микротрещинам, окаймляющим в основном псефитовые и псаммитовые зерна, - следы (примазки, пленки) более легкого битума. По



промыслово-геофизической характеристике повсеместно на площади выделяются 2-3 пласта песчаников с удовлетворительными коллекторскими свойствами. При опробовании этих пластов получены притоки пластовой высокоминерализованной воды (в скв. 1 дебит составил $13,6 \text{ м}^3/\text{сутки}$).

Лучшими коллекторскими свойствами обладают вышележащие отложения старооскольского и нижнешигровского горизонтов.

Отложения старооскольского горизонта вскрыты на приподнятых блоках и выступах кристаллического фундамента в северо-западной части впадины, а также в зонах краевых разломов.

На северо-западе впадины они пройдены скважинами на Грибоворуднянской, Брусиловской, Городищенской, Гуньковской, Калайдинцевской площадях (мощность 40-80 м), а в южной краевой зоне - на Белоцерковском выступе (мощность до 27 м).

Палеонтологические исследования, подтверждающие возраст старооскольского горизонта, проведены на керновых материалах скважин Белоцерковской площади (скв. 232, данные Пистрак, Лященко и др., 1970), Грибоворуднянской (скв. 1, 2, 3, 655), Бру-

Рис. 1. Карта отбора кернового материала для исследования минералого-петрографических и коллекторских свойств пород девона (нижнего карбона)

Структуры, из разрезов девонских отложений которых отобран керн для изучения

I. Северный борт: 1 - Бахмачская.

II. Северная краевая зона: 2 - Дмитриевская; 3 - Новотроицкая; 4 - Макасовская; 5 - Грибоворуднянская; 6 - Ивашковская; 7 - Борковская; 8 - Холмская; 9 - Велико-Озерская; 10 - Рыбальская; 11 - Березнянская.

III. Центральная часть: 12 - Середняковская; 13 - Репкинская; 14 - Леляковская; 15 - Монастырищенская; 16 - Мятяшевская; 17 - Брусиловская; 18 - Малосорочинская.

IV. Южная краевая зона: 19 - Ульяновская; 20 - Видельцевская; 21 - Мринская; 22 - Пролетарская; 23 - Белоцерковская; 24 - Коломыйцевская; 25 - Олишевская; 26 - Пирятинская; 27 - Михайловская; 28 - Петривцевская; 29 - Малодевицкая; 30 - Пакульская; 31 - Лосиновская; 32 - Хрещатинская; 33 - Подгорянская; 34 - Калайдинцевская; 35 - Сагайдакская.

Структуры, из разрезов нижнекаменноугольных отложений которых отобран керн для изучения

II. Северная краевая зона: 36 - Рыбальская; 37 - Новотроицкая.

III. Центральная часть: 38 - Глинско-Розбышевская; 39 - Артюховская; 40 - Харьковцевская; 41 - Чижевская; 42 - Опошнянская; 43 - Довжиковская; 44 - Анастасьевская.

IV. Южная краевая зона: 45 - Виноградовская; 46 - Новоселковская; 47 - Ульяновская; 48 - Западно-Михайловская

силовской (скв. 2), Городищенской (скв. 500) и Гуньковской (скв. 218).

Наиболее полно старооскольские отложения изучены по керну скважин Грибоворуднянской площади. Здесь они представлены пестроцветными кварцевыми разнородными песчаниками, сцементированными глинисто-доломитовым цементом, с пропластками красновато-коричневых алевролитов и серо-зеленых, иногда алеврогистых, аргиллитов. Весьма характерны для этих пород линзовидно-слоистые текстуры, частый переход аргиллитов в алевролиты и обратно.

В разрезе старооскольских отложений Городищенской, Брусиловской и Гуньковской площадей встречены преимущественно темно-бурые и зеленовато-серые аргиллиты, иногда сильно доломитизированные, чередующиеся с пачками белых кварцевых песчаников и глинисто-карбонатных пород.

В южной прибортовой зоне впадины (Белоцерковский выступ) в разрезе старооскольского горизонта (мощность до 19 м) встречены доломитизированные аргиллиты, доломиты, темно-серые с зеленоватым оттенком, мергели и серые плотные известняки.

Нижнешигровский горизонт в разрезе девона Днепровско-Донецкой впадины составляет верхнюю часть терригенной толщи подсолонгового комплекса. Развита эта отложения, по-видимому, повсеместно во впадине, хотя вскрыты в настоящее время только в северо-западной и южной прибортовой ее частях.

На приподнятых блоках фундамента нижнешигровские отложения залегают непосредственно на кристаллическом основании.

Впервые отложения данного горизонта фаунистически охарактеризованы в разрезе Калайдинцевской скважины 220.

Пашийские и кыновские слои, объединяющиеся в нижнешигровский горизонт, в северо-западной части впадины вскрыты многими скважинами и наиболее полно охарактеризованы кернами в скважинах Грибоворуднянской площади. Литологически они однотипны с разрезом Припятской впадины. В разрезе этих слоев выделяются две пачки пестроцветных терригенных пород. Нижняя пачка — преимущественно песчаная, верхняя — глинистая. Отложения этого горизонта изменчивы по мощности (10–70 м), что указывает на трансгрессивный характер его залегания, а также на частичный размыв верхней части (Белоцерковская площадь). Песчаная часть разреза сложена светлыми, иногда зеленовато-серыми мономинеральными кварцевыми хорошо отсортированными песчаниками и алевролитами, сцементированными глинистым цементом пленочного и порово-пленочного типов, иногда карбонатным цементом базально-порового типа.

Верхняя глинисто-карбонатная пачка пород составляет большую по мощности часть нижнешигровских отложений. Представлена эта пачка преимущественно красновато-коричневыми аргиллитами с прослоями доломитов зеленовато-серых, мелкозернистых и глинистых известняков, реже — песчаников и алевролитов.

В нижней части этой пачки выделен (Пашкевич, 1970) маркирующий горизонт известняково-глинистых пород с обилием остатков лингул и эстерий. Этот горизонт имеет почти повсеместное распространение. Мощность его составляет 8–12 м.

В наиболее погруженных частях южной краевой зоны (площади Петровцевская, Багачанская) нижнешигровские слои представлены в нижней части светло-серыми с желтоватым оттенком мелко- и тонкозернистыми песчаниками с прослоями глин и алевролитов, а в верхней части – тонкоотмученными плитчатыми аргиллитами с прослоями карбонатных пород. В песчаниках содержатся обломки эффузивных пород. Структура песчаников – псаммитовая, алевропсаммитовая, текстура – массивная. Цемент песчаных пород глинистый, глинисто-карбонатный по составу и самый различный по типу (базально-поровый, порово-пленочный, регенерационный кварцевый).

В районе Остапьевско-Белоцерковского выступа и на Калайдинцевской площади южной краевой зоны отмечается заметное опесчанивание нижнешигровских отложений.

Экспериментальные исследования и интерпретация промыслово-геофизических материалов позволили установить зависимость между величинами параметра пористости (P_{Π}) и коэффициента открытой пористости (K_{Π}) для терригенных пород подсоловой части девона северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины; она имеет вид

$$P_{\Pi} = \frac{a}{K_{\Pi}^m},$$

где a и m – постоянные коэффициенты, зависящие от структурно-текстурных особенностей пород ($a = 3,19$; $m = 1,27$).

Статистическая обработка данных показала, что коэффициент корреляции r этой зависимости равен 0,91.

Тесная корреляционная связь позволяет использовать установленную зависимость при оценке емкостных свойств пород подсоловой терригенной толщи в интервалах, не охарактеризованных керновым материалом. В целом для разреза палеозоя впадины емкостные свойства гранулярных коллекторов, независимо от их состава и цемента, с глубиной ухудшаются. И хотя эта общая закономерность является объективной, однако она не отображает истинной картины изменения пористости для каждой конкретной группы пород.

Максимальными величинами уплотнения с глубиной обладают алевролиты и песчаники – плохоотсортированные, плохоокатанные с высоким содержанием глинисто-кремнисто-слюдистого цемента. Песчаники и алевролиты с хорошоотсортированным кластическим материалом и невысоким содержанием цементирующего глинисто-кремнистого вещества, как правило, претерпевают меньшее уплотнение.

Глинисто-карбонатная толща рассматривается в объеме верхнешигровского (саргаевского), семилукского, алатырского и воронежского горизонтов.

Верхнешигровский (саргаевский) горизонт пройден скважинами в южной краевой и в северо-западной частях Днепровско-Донецкой впадины; на площадях Брусиловской, Березнянской, Гуньковской, Максаковской, Грибоворуднянской, Калайдинцевской, Богачанской и Петривцевской. На этих площадях верхнешигровский горизонт подтвержден фаунистически.

Сложены верхнешигровские слои преимущественно карбонатными породами, хорошо выдержанными по площади. Они являются высокоомным каротажным репером не только в пределах Днепровско-Донецкой впадины, но и в Припятском прогибе.

В северо-западной части впадины разрез верхнешигровского горизонта представлен преимущественно доломитами и доломитизированными органогенными известняками буровато-серых и серых тонов, часто трещиноватыми и кавернозными, с прослоями аргиллитов, реже мергелей и песчаников. Встречаются также органогенные детритусовые известняки (Березнянская скв. 1-Р).

В южной краевой зоне верхнешигровский горизонт встречен в Калайдинцевской скв. 220 и представлен пестроцветными глинистыми известняками, иногда с примесью глинисто-алевроитовых пород. Из интервала 2954-2950 м подняты полимиктовые, неравномерно-зернистые песчаники и гравелиты с галькой кристаллических пород, что указывает на привнос терригенного материала с Украинского кристаллического щита.

На Белоцерковской площади отложения этого комплекса сложены преимущественно доломитизированными известняками и доломитами, часто глинистыми брекчированными с прослоями темно-серых мергелей и аргиллитов, реже розовато-серых мелкозернистых известняков.

В южной краевой зоне Днепровско-Донецкой впадины верхнешигровские отложения почти повсеместно размыты и трансгрессивно перекрыты семилукскими слоями.

К глинисто-карбонатной толще подсолевых девонских отложений относится рудкинский горизонт (мощность до 15 м), который вскрыт пока только в северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины (в разрезах Грибоворуднянской и Брусиловской площадей). Сложен рудкинский горизонт преимущественно известково-глинистыми породами: темно-серыми известняками и аргиллитами. В разрезах скважин южной краевой зоны впадины рудкинские слои не обнаружены. На северо-западе впадины в разрезах Грибоворуднянской и Брусиловской площадей встречены семилукские образования. Представлены они в основном известковистыми породами с маломощными пропластками терригенно-глинистых пород. По составу они аналогичны рудкинскому горизонту и в составе с ним образуют единый каротажный репер.

В южной краевой зоне впадины семилукские отложения представлены мощной толщей (до 400 м) терригенных, туфогенных, туфогенно-терригенных и эффузивных пород, объединяющихся под названием белоцерковской свиты (Пашкевич, 1970).

Алатырский горизонт в северо-западной части впадины (мощность около 70 м) перекрывает верхнешигровско-семилукскую карбонатную толщу и сложен преимущественно карбонатными аргиллитами, мергелями, алевролитами с прослоями туфопесчаников, полимиктовых песчаников, а в верхней части – доломитизированными известняками.

Туфопесчаники – неравномерно-зернистые с глинисто-карбонатным и кремнисто-железисто-карбонатным цементом в основном базально-порового типа. Песчаники – чаще разнозернистые и содержат туфогенный материал. Они слабо- и среднеотсортированные, цемент их чаще карбонатного состава, порового, реже контактово-порового типов. Коллекторские свойства песчаников и туфопесчаников весьма низкие: пористость редко превышает 1-7%, проницаемость – единицы миллидарси.

Низкие емкостные и фильтрационные свойства пород прежде всего обусловлены высоким содержанием цемента и его составом, в котором преобладают эпигенетический кальцит, кремнистое и железистое вещество. Карбонатные породы (мергели и известняки) как возможные коллекторы нефти и газа самостоятельного значения не имеют.

В южной прибортовой зоне на Калайдинцевской площади к алатырскому горизонту отнесена толща глинисто-карбонатных пород, залегающая на семилукских образованиях. Здесь встречена пачка грубообломочных пород.

Алатырские отложения в южной прибортовой зоне выделяются также на Остапьевско-Белоцерковском выступе (скв. 1, 2, 4, 21, 23, 230, 231, 232, 233), в разрезах Тарновшинской (скв. 1), Петривцевской (скв. 220, 222), Исачковской (скв. 7) и Пролетарской (скв. 4) площадей, а также Новотроицкой и Синевской площадей северной краевой зоны.

Выделяются два типа разрезов алатырского горизонта. Карбонатно-терригенный разрез вскрыт в скважинах Калайдинцевской, Белоцерковской, Тарновшинской и Новотроицкой площадей. Второй тип разреза вскрыт на Великобогачанской, Исачковской и Петривцевской площадях. Он характеризуется присутствием в верхней части разреза пластов соли и ангидритов, известняков и мергелей, а в нижней – аргиллитов с плотными песчаниками.

Коллекторские свойства алатырских пород изучались преимущественно на кернах скважин, расположенных в пределах Остапьевско-Белоцерковского выступа (скв. 230, 232, 21, 23) и на Великобогачанской площади (скв. 7). Песчано-алевритовые разности пород обладают пористостью 0,6-14% и низкой проницаемостью ($K_{пр}$ до 1 мД).

При анализе материалов промыслово-геофизических наблюдений в разрезах алатырского горизонта на Калайдинцевской, Белоцерковской и Новотроицкой площадях отмечены интервалы с удовлетворительными коллекторскими показателями. В интервале 3560-3600 м на Новотроицкой площади и в интервале 2930-

2961 м на Белоцерковской площади (скв. 21) получены притоки газа.

Воронежские отложения на территории рассматриваемого региона вскрыты многими скважинами. Они залегают на размытой поверхности подстилающих пород разного возраста. Для Воронежского горизонта характерны значительные изменения мощности (25–400 м) и многообразие типов разрезов. Здесь встречены терригенные, карбонатно-терригенные, туфогенные и сульфатно-галогенные породы.

Карбонатные породы представлены оолитовыми и массивными органогенно-детритовыми желваковидными известняками, в разной степени доломитизированными и глинистыми, с прослоями аргиллитов и мергелей.

Эффузивно-туфогенная подсолевая толща широко распространена в Днепровско-Донецкой впадине. В северо-западной части впадины к ней относятся образования воронежско-евлановского времени (Грибоворуднянская, Репкинская, Гуньковская, Пакульская и другие площади), а юго-восточнее, в средней части впадины, — это преимущественно семилукско-алагьрские отложения (Калайдинцевская, Петрицевская, Остапьевско-Белоцерковская, Великобогачанская; Тарновщинская и другие площади). Мощность толщи 200–800 м. В строении ее принимают участие вулканогенные и осадочные образования. Мощные покровы эффузивов представлены туфолавами, туфами, вулканогенными конгломератами и гравелитами, осадочная толща — известняками, мергелями, аргиллитами, алевролитами, песчаниками, туфопесчаниками, а в верхней части разреза на ряде площадей — доломитами и каменной солью (Мринская, Великобогачанская, Исачковская, Петрицевская площади). Поскольку вулканизм и прогибание дна бассейна осадконакопления во впадине происходили асинхронно, соотношение эффузивных, пирокластических и осадочных образований в разрезах толщи очень изменчиво, поэтому корреляция слагающих толщу литологических пачек весьма затруднена.

Эффузивные и пирокластические породы в большинстве случаев отличаются высокой плотностью и низкими коллекторскими способностями, в подсолевом комплексе самостоятельного значения для поисков в них залежей нефти и газа они не имеют. Открытая пористость их обычно колеблется в пределах 2–12%, проницаемость, как правило, не превышает долей миллидарси. Однако в разрезах скв. 227 на Пакульской и скв. 2 на Брусиловской площадях встречены разности с пористостью до 16–22% (измененные эффузивы и пузырчатые туфолавы), незначительная (до 1,4 мД) проницаемость которых обусловлена наличием микротрещин.

В краевых зонах впадины на ряде площадей (Калайдинцевская, Петрицевская, Остапьевско-Белоцерковская, Тарновщинская, Великобогачанская, Новотрошская) в разрезе толщи существенное место занимают туфопесчаники, песчаники и алевролиты, образующие пачки мощностью до 30 м.

Песчаники характеризуются значительным литологическим разнообразием. Они обычно имеют слоистую текстуру, различны по степени отсортированности, а по структуре варьируют от мелко- до грубозернистых и гравелигов. Кластический материал их представлен в основном кварцем (в туфопесчаниках – обломками эффузивных пород), в подчиненном количестве – полевыми шпатами, обломками известняков, рудными минералами и пироксеном. Цемент песчаников по составу чаще всего карбонатный, глинисто-карбонатный, иногда кремнистый, порового или порово-контактного типов; преобладает поровый тип.

Судя по изученным кернам из разрезов скважин: 230, 231, 21, 23 – Остапьевско-Белоцерковской, 10 – Петривцевской и 7 – Богачанской площадей, коллекторские свойства песчаников невысоки. Открытая пористость их колеблется в пределах 0,4–14,5%, проницаемость – до 0,6 мД. Встречаются, однако, площади (Калайдинцевская, скв. 220, Грибоворудненская, скв. 2, Новотроицкая, скв. 14), где песчаники кварцевого состава имеют пористость свыше 10 и до 20%, а проницаемость – свыше 10 мД. При опробовании интервала 2520–2530 м в скв. 229 из пласта песчаника получен приток минерализованной воды в количестве 187 м³/сутки. Проницаемость этих пород оценивается в 77 мД. Поднятый из интервала 3036–3038 м той же скважины плотный песчаник с пористостью 2,1% и проницаемостью 0,3 мД обладал признаками нефтенасыщения.

По промыслово-геофизическим данным ряд пластов терригенных коллекторов удовлетворительного качества в интервалах, не охарактеризованных керном, выделяется в разрезах Калайдинцевской, Остапьевско-Белоцерковской, Новотроицкой площадей.

Приведенная краткая характеристика пород подсолевого комплекса девона Днепровско-Донецкой впадины свидетельствует о наличии в нем терригенных коллекторов гранулярного типа.

Однако в составе подсолевых отложений имеются значительные пачки пород, обладающие и трещинной емкостью (известняки, доломиты, эффузивные, эффузивно-терригенные и терригенные разности).

В разрезе глинисто-карбонатной толщи трещинные карбонатные коллекторы развиты в нижней части верхнешигровско-семилуцких и верхней части воронежских отложений.

Открытая пористость карбонатных и глинисто-карбонатных трещинных пород, как правило, ниже 5–6%, редко до 10%, проницаемость редко поднимается выше долей миллиарда.

Трещинная емкость этих пород не достигает 0,3%, а трещинная проницаемость колеблется от единиц до 18 мД. С трещиноватыми разностями связаны нефте- и битумопроявления в карбонатных породах подсолевого девона, а следовательно, и перспективы нефтенакопления. Встречающиеся в составе описываемой толщи пропластки туфов также могут представлять интерес как возможные коллекторы для нефти и газа.

Нижний соленосный комплекс распространен в Днепровско-Донецкой впадине почти повсеместно и является региональным экраном

на пути миграции флюидов. В северо-западной части он представлен отложениями евлановско-ливенского, а в юго-восточной - воронежско-ливенского горизонтов.

Максимальная мощность соленосного комплекса до 700 м, а в наиболее погруженных частях впадины - до 1650 м (площади Краснопартизанская, Холмская, Исачковская и др.).

В краевых зонах впадины и выступов фундамента соль замещается карбонатно-глинистыми, сульфатно-карбонатными и терригенными образованиями, составляющими на отдельных участках целые пачки мощностью до 390 м (Монастырищенская, Петривцевская и другие площади). В соленосных разрезах преобладает каменная соль с многочисленными пропластками ангидритов, доломитов, аргиллитов, мергелей и известняков. В юго-восточной части в соленосных разрезах присутствуют диабазы (Исачковская, Великобогачанская площади). Вулканические образования присутствуют также на северо-западе впадины (Мринская, Берестовецкая и другие площади).

Наиболее полно изучены породы нижнего соленосного комплекса на площадях южной и северной краевых зон.

В бессолевых разрезах известняков и песчаников на Монастырищенской площади зафиксированы прямые признаки нефтенасыщения. Так, газопроявления здесь отмечены в скв. 5 в интервале 3872-3974 м.

Признаки насыщения песчаников и известняков легкими углеводородами отмечены также и в других интервалах. В верхнем интервале (3921-3931 м) встречены известняки эпигенетически перекристаллизованные, грешинчатые, с плотной матрицей. Известняки при суммарной пористости 6-8% не обладают удовлетворительными фильтрационными свойствами. В нижнем интервале (3956-3959 м) встречен пласт песчаника кварц-полевошпатового состава, плохо отсортированного, неравномернозернистого (до гравелита). Цемент песчаников - эпигенетический, глинисто-карбонатно-железистого, иногда ангидритового состава, порового и порово-контактного типов. Отмечаются катаклаз зерен, редко - поры выщелачивания и открытые микротрещины. Несмотря на сравнительно высокую пористость песчаников этого интервала (до 10%), коллекторские свойства их низкие из-за заполнения порового пространства вторичным галитом.

В разрезе Калайдинцевской площади терригенные породы как возможные коллекторы обладают более высокими показателями коллекторских свойств, особенно в верхней части характеризуемого комплекса. Здесь встречены аркозовые, разномернозернистые песчаники с глинисто-карбонатным цементом порового и контактно-порового типов. Пористость этих пород колеблется в пределах от 1 до 17%, а проницаемость достигает 50-100 мД.

При испытании двух интервалов в этом комплексе (2332-2337 и 2380-2385 м) получены притоки воды соответственно 549 и 140 м³/сутки, что указывает на высокие коллекторские показатели отложений.

Нефтегазопроявления в нижней карбонатной толще соленосного комплекса отмечаются также на Петривцевской площади. Они приурочены к трещиноватым известнякам (скв. 7) или к песчаникам (скв. 10). В средней части комплекса (скв. 5, гл. 2788–2846 м) зафиксированы обильные газонакопления. Эти данные свидетельствуют о наличии в изучаемой толще поровых и трещинно-поровых коллекторов.

На Великобогачанской площади нефтепроявления отмечены в трещиноватых ангидритах и песчаниках.

В скважинах Исачковской площади породы-коллекторы с примазками нефти и битума встречены в верхней части соленосного комплекса. Коллекторы здесь представлены песчаниками аркозовыми мелко- и среднезернистыми, среднесцементированными, слоистыми с пористостью до 16% и проницаемостью до 15 мД.

Значительное количество терригенных пород (разнозернистых песчаников и конгломератов) выявлено в разрезе нижнего соленосного комплекса на Остапьевско-Белоцерковской площади. Пористость песчаников достигает 18%, а проницаемость – до 10 мД.

Из интервала песчаников (2260–2310 м), пройденного скв. 233, получены небольшие притоки газа.

Терригенно-карбонатными породами сложен разрез скв. 301 Шаповаловской площади. Из карбонатных пород, выделенных здесь по промышленно-геофизическим данным, получен приток воды до $32 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

В разрезах скважин, пробуренных на ряде площадей, и сульфатно-карбонатные и карбонатные породы нижнего соленосного комплекса отличаются значительной трещиноватостью, а иногда и признаки нефтепроявлений (трещинная емкость пород составляет 0,05–0,4%, проницаемость достигает 38 мД, густота трещин – 210 1/м).

Изучение кернового материала Борковской, Седневской и Олишевской площадей дает основание считать, что в разрезах этих площадей имеются удовлетворительные коллекторы порово-трещинного и трещинного типов.

В центральной присеевой зоне впадины отложения нижнего соленосного комплекса вскрыты на Берестовецкой, Малосорочинской и других площадях. На Малосорочинской площади в интервале глубин 3063–3097 м (скв. 4) внутри соленосной толщи встречены небольшие пропластки терригенных пород с интенсивным газопроявлением, что свидетельствует об их хороших коллекторских показателях.

Таким образом, внутрисолевые линзы терригенных и трещиноватых пород в Днепровско-Донецкой впадине могут рассматриваться как отдельные перспективные объекты.

Межсолевой комплекс – перспективный комплекс пород девона Днепровско-Донецкой впадины – имеет наиболее широкое распространение. Мощность этого комплекса достигает 1500–1700 м в центральной части впадины и уменьшается до 300–1000 м к северо-западу.

Стратиграфически межсолевые отложения отвечают задонско-елецкому горизонту фаменского яруса. Разрез их имеет двучленное строение. В северо-западной и центральной частях впадины нижняя часть межсолевого комплекса сложена глинисто-карбонатными породами, а верхняя — песчано-глинистыми. При этом в центральной части наблюдается преимущественное развитие терригенных пород грубозернисто-песчанистого состава. Межсолевые отложения изучались по керну скважин Лосяновской, Видельцевской, Борковской, Монастырищенской, Грибоворуднянской, Пролетарской, Михайловской, Западно-Михайловской, Остапьевско-Белоцерковской, Сагайдакской, Великобогачанской, Петрицевской и Калайдинцевской площадей. Глинисто-карбонатная толща северо-западной части впадины представлена преимущественно известняками массивными и трещиноватыми, прослоями ступковых и желваковидных, иногда оолитовых, с прослойками мергельно-глинистых разностей, реже — песчаников и алевролитов. Встречены также эффузивные породы основного состава и диабазы, а также туфы и туфогенные породы основного состава.

В разрезах южной зоны впадины преобладают более опесчаненные мергельно-глинистые разности, прослой известняков встречаются реже. Петрографические исследования показали, что в карбонатных породах данной толщи (в изученных разрезах) процессы доломитизации, эпигенетической перекристаллизации и выщелачивания протекали менее интенсивно, чем в карбонатных горизонтах подсолевого комплекса. В формировании коллекторов существенна роль тектонической трещиноватости, генетически связанной как с подвижками блоков фундамента, так и с движениями нижележащих солевых масс. Значительное развитие трещиноватости в карбонатных породах задонского горизонта в последние годы установлено в образцах из разрезов скважин Грибоворуднянской, Борковской, Пакульской и других площадей.

Во многих случаях трещины (главным образом тектонические) частично или полностью заполнены нефтью различной консистенции — от тяжелой полутвердой до подвижной.

Иногда в породе одновременно присутствуют два вида нефтяных битумов, приуроченных соответственно к различным по времени образованию трещинам. Так, в скв. 217 Грибоворуднянской площади в образце комковатого брекчированного известняка (отобранного из интервала 1222–1227 м) отмечено две генерации тектонических трещин, из которых более ранние заполнены тяжелым темно-бурым битумом, а более молодые — более легким и светлым. Коллекторские свойства изученных карбонатных пород невысоки — открытая пористость обычно находится в пределах 2,5–6%, за исключением некоторых комковатых или доломитизированных разностей известняков, в которых она иногда достигает 8–11%. Трещинная емкость обычно не превышает 0,3%, в брекчированных разностях трещинная проницаемость колеблется от сотых долей до десятков миллидарси. Наибольшая интенсивность трещиноватости отмечена в нижней части

глинисто-карбонатной толщи в разрезе скважин Борковской площади. Многочисленные экспериментальные исследования битумо- и нефтепроявлений, а также всестороннее изучение емкостных особенностей пород глинисто-карбонатной толщи рассматриваемой части впадины позволяют констатировать, что преимущественное развитие здесь получили трещинные и реже — трещинно-поровые коллекторы. Наибольшее развитие трещиноватости пород глинисто-карбонатной толщи приурочено к участкам, где эта толща деформирована солевым тектогенезом. В Припятском прогибе с отложениями данного горизонта связана основная продуктивность на Речицком и Осташковическом месторождениях.

К юго-востоку от описанной выше территории в районе деятельности треста "Полтавнефтегазразведка" калайдинцевская свита вскрыта, как уже отмечалось, на многих разведочных площадях. В разрезах скважин не обнаружено четкого деления ее на глинисто-карбонатную и терригенную части. За исключением небольших пропластков карбонатных пород, встреченных отдельными скважинами, разрез представлен терригенной толщей. Последняя (елецкий горизонт) изучалась в разрезах тех же скважин, что и вышеописанная глинисто-карбонатная, но более полно за счет широкого развития ее в северной и южной бортовых частях центральных районов Днепровско-Донецкой впадины.

В пределах северо-западной части терригенная толща сложена чередованием пластов алевролитов, песчаников, гравелитов с пачками глинистых пород.

Карбонатные разности существенной роли не играют. На крайнем северо-западе в разрезе терригенной толщи встречаются вулканогенно-терригенные породы (граувакки) — туфы, туфиты, пропластки эффузивов (площади Березня, Седнев, Видельцы). Мощность терригенной толщи достигает 800–900 м, на отдельных структурах северной зоны (Адамовка, Максаки) — 1300–1500 м. Коллекторские возможности толщи связываются главным образом с песчаниками, реже — с туфопесчаниками, эффузивами.

Среди песчаников встречаются разности, пористость которых достигает 20–25%, с проницаемостью до 100 мД и более. Число песчаников с открытой пористостью порядка 10% составляет около 40%, т.е. они встречаются достаточно часто. Однако проницаемость этих пород редко превышает 1 мД. Среди пирокластических (туфов, туфитов, туфопесчаников, туфобрекчий) и эффузивных пород встречено мало образцов с удовлетворительными коллекторскими свойствами, в то же время пористость пород этой группы довольно высокая — у 50% исследованных образцов пористость превышает 10%, достигая во многих случаях 20–28%. Низкие фильтрационные свойства этих пород обусловлены плохой сообщаемостью пор. Среди эффузивных пород более высокой емкостью обладают разности, имеющие пузырчатую текстуру. Не вызывает сомнения, что эффузивные образования в случае сочетания трещинных и поровой емкостей могут быть хорошими коллекторами.

У алевролитов и глинистых образований лишь в единичных случаях обнаруживается слабая проницаемость (до 1 мД) при низкой пористости.

Изученные образцы песчаников и алевролитов исследуемой терригенной породы редко имеют высокие коллекторские свойства. Только в разрезах Максаковской, Адамовской, Бахмачской и Пирятинской площадей встречены образцы с пористостью 20% и выше и проницаемостью 100 мД и более. Последние представлены в основном кварцевыми, слабоглинистыми, слабо- и среднесцементированными, крупно- и среднезернистыми песчаниками (встречаемость не более 10%). Общей характерной литологической особенностью песчаников этой толщи является преобладание разностей (до 80%) плохоотсортированных, с повышенным содержанием глинистого и карбонатного материала в цементе. Чаще всего в шлифах отмечается базальный, базально-поровый тип цементации. Как коллекторы порового типа эти песчаники малоперспективны.

По результатам интерпретации материалов промысловой геофизики наличие удовлетворительных коллекторов отмечено почти повсеместно и особенно в разрезах прибортовых структур северо-восточной и юго-западной зон впадины (скважины 3 Бахмачской, 1, 2, 3, 6 - Адамовской, 20 - Калайдинцевской, 1 - Пирятинской, 6 - Олишевской, 221 - Пакульской и других площадей). Однако, как показали результаты испытаний, достоверность интерпретации промыслово-геофизических данных для описываемого разреза довольно низкая.

Всего в разрезе терригенной толщи испытано 15 объектов на 9 площадях, при этом получены притоки воды от 3,3 до 111 м³/сутки (на 8 объектах в 5 скважинах). Определенная при этом проницаемость изменяется от 5 до 15 мД.

Для терригенных пород межсолевого комплекса девона изучена корреляционная связь между P_{Π} и K_{Π} , имеющая математическое выражение: $P_{\Pi} = \frac{1,05}{K_{\Pi} \cdot 1,85}$ с коэффициентом корреляции 0,91.

Полученная зависимость рекомендована для оценки емкостей терригенных пород-коллекторов межсолевого девонского комплекса.

Большой практический интерес с точки зрения перспектив нефтегазоносности представляют отложения калайдинцевской свиты в южной и северной зонах центральной части впадины.

В южной прибортовой зоне эти отложения вскрываются на Пролетарской, Михайловской, Западно-Михайловской, Остапьевско-Белоцерковской, Сагайдакской, Великобогачанской, Богачанской, Петривцевской, Исачковской, Калайдинцевской и других площадях.

Разрез состоит из переслаивающихся пластов и пачек песчаников с алевролитами и аргиллитами. В скважинах, расположенных ближе к региональному разлому, на Михайловской (скв. 1,2-р), Западно-Михайловской (скв. 8 и 21), Петривцевской (скв. 2, 9, 4, 8, 5), Березовской (скв. 225), Терновшинской (скв. 1), Калайдинцевской (скв. 3, 6, 4, 220) площадях, значительную роль в разрезе

играют пласты гравелитов аркозового состава и плохоотсортированных грубозернистых песчаников (20-60%). По мере удаления от борта гравелиты исчезают, а песчаники становятся более мелкозернистыми. В разрезе преобладает переслаивание средне- и мелкозернистых песчаников (50-90%) с алевролитами (10-20%) и аргиллитами (10-30).

Аркозовые гравелиты рыхлые, имеют неравномернозернистую псаммопсефитовую структуру, характеризуются низкой степенью сортировки обломочного материала. Преобладающий размер зерен 2-6, реже 8-10 мм. Обломки плохо окатаны, угловаты. Минералогический состав обломков аналогичен аркозовым песчаникам. Цемент мало, он преимущественно слюдисто-кальцитовый, типа выполнения пор и пленочный. Залегают гравелиты в виде линз среди аркозовых песчаников.

Аркозовые песчаники наиболее широко распространены среди описываемых отложений, реже отмечаются полевошпатово-кварцевые разности. Структура песчаников - неравномернозернистая, псаммитовая. Содержание полевых шпатов достигает 25-55%, кварца - 30-60%. В подчиненном количестве присутствуют обломки гранитоидов (5%) и других пород (1-2%), представленных хлоритовыми разностями, аргиллитами и известняками. Форма зерен - угловатая, размер зерен изменяется в широких пределах - от 0,1 до 2,0 мм, единичные обломки пород достигают 10 мм и более. В песчаниках наблюдаются обуглившиеся растительные остатки. Встречены как плотносцементированные крепкие, так и очень слабые, почти рыхлые пористые разности песчаников. В составе цемента в разных соотношениях принимают участие кальцит, слюда и глинистое вещество. Типы цемента различные, преобладает цементация выполнения пор и пленочного типа, реже - базального, контактового, регенерационного типов. В мелко- и среднезернистых разностях песчаников наблюдается неясно выраженная параллельнослоистая и косо-слоистая текстура.

Алевролиты по минералогическому составу аналогичны песчаникам.

Коллекторские свойства пород этой толщи изучались в скважинах 4,5,6, 222 Калайдинцевской, 6,7 - Великобагачанской, 1 - Лиманской, 23 - Остапьевско-Белоцерковской, 1,2,8,9,10 - Петрицевской площадей.

В скв. 222 Калайдинцевской площади песчаники, залегающие в верхней части разреза, отличаются высокими показателями пористости - 8,1-22,5% и проницаемости (свыше 100 мД). В средней и нижней частях толщи пористость и проницаемость песчаников несколько уменьшаются. В интервале 2271-2277 м встречены песчаники с запахом углеводородов.

В скв. 5 песчаники имеют пористость 1,3-26,6% (чаще 20%) и проницаемость от 0,4 до 1975 мД (карбонатность пород низкая), в скв. 4,6 пористость песчаников изменяется в пределах 5,7-22,3%, а проницаемость от 0,1 до 1000 мД (карбонатность в редких случаях достигает 27%).

На Петривцевской площади (скв. 10) в интервале 1937-1947 м встречены песчаники слабоглинистые, высококарбонатные с пористостью 17,4-18,6% и проницаемостью 1,7-16,8 мД, в интервале 2012-2017 м - брекчии, трещинные аргиллиты и трещинные известняки, насыщенные нефтью.

В скважинах 1,2,4,8,9 коллекторами являются песчаники. Пористость их варьирует от 4,6 до 21,8%, проницаемость от 0,1 до 60 мД. Из скв. 5 с глубины 2358 м получены притоки газа.

На Великобогачанской площади из интервалов 2410-2416 м, 2502-2507 м (скв. 7) подняты мелко- и среднезернистые песчаники с пористостью 13,6-16,6%, проницаемые, слабокарбонатные. В скв. 6 из верхней части толщи (2451-2455, 2505-2507 м) также подняты мелкозернистые (от плотных до среднесцементированных) песчаники с пористостью 8,4-17,0% и проницаемостью до 100 мД со слабым нефтяным запахом.

На Белоцерковской площади (скв. 23) в верхней части толщи встречены мелкосреднезернистые, среднесцементированные песчаники с пористостью 16,1-22% и проницаемостью от 10 до 130 мД.

На Ново-Николаевской площади хорошие коллекторы установлены по материалам промысловой геофизики и результатам опробования скважин на глубинах 2644-2651 м. На этой площади получены притоки газа с нефтью.

В северной прибортовой зоне отложения калайдинцевской свиты вскрываются на ряде площадей, разрез которых, так же как и в южной части впадины, состоит из переслаивающихся пластов аркозовых песчаников с алевролитами и аргиллитами.

Минералогический состав, структурные и текстурные особенности пород в этой части впадины аналогичны ранее охарактеризованному на юге.

Верхняя часть разреза калайдинцевской свиты на ряде структур, расположенных в краевых частях впадины, имеет кору выветривания (кора выветривания встречена на Великобогачанской, Петривцевской, Кибинцевской, Исачковской, Калайдинцевской и других площадях). Эта часть разреза, как правило, характеризуется хорошими коллекторами.

В центральной части впадины калайдинцевская свита встречена в скв. 3, 43 Радченковской площади, а также на Глинско-Розбышевской структуре (скв. 25, 225, 126).

На Радченковской площади разрез представлен чередованием мощных (до 35 м) пачек песчаников, переслаивающихся с глинами. Встречаются прослои известняков, аргиллитов и алевролитов.

Песчаники четко выражены на каротажных диаграммах и характеризуются как коллекторы, по-видимому, с высокими поровыми и фильтрационными характеристиками.

На Глинско-Розбышевской площади задонско-елецкие слои представлены туфогенно-осадочной толщей, вскрытой скважинами 25, 125 и 126. Сложена она аргиллитами с прослоями алевролитов, песчаников, туфов, туфогенных пород, а также известняков, Туфы

преобладают в нижней части разреза, где, судя по керну, почти целиком слагают толщу. В верхней части разреза они встречаются в виде прослоев мощностью до 0,3 м. Песчаники этой толщи образуют пласты с многочисленными прослоями аргиллитов мощностью до 30 м.

Туфы – базальтово-андезитовые. В скв. 125 (гл. 4492–4502 м) в свежем изломе туфы обладают слабым запахом конденсата.

В интервалах 3961–3962, 3984–3990 м (скв. 25) подняты и кварцевые песчаники, мелко- и крупнозернистые, крепкие, средне-цементированные, насыщенные конденсатом.

Коллекторские свойства пород изучались по керну из скв. 25. Пористость туфа составляет 4,3%, доломита – 0,9–10% (интервал 3961–3962 м). Еще ниже (3984–3990 м) подняты алевролит и мелкозернистые песчаники, последние с пористостью 1,0–18,2% и проницаемостью 0,1–330,0 мД при карбонатности 0,2–5,5%.

При совместном опробовании песчаных горизонтов, расположенных в средней части туфогенно-осадочной толщи (скв. 25), в интервале 3910–3973 м, был получен приток газа.

При бурении скв. 125 в интервале 4522–4548 м отмечались интенсивные газопроявления, приуроченные, по-видимому, к тому же песчаному пласту, что и в скв. 25.

Верхний соленосный комплекс составляет верхнюю часть елецкого и нижнюю часть лебедянского горизонтов.

В Днепровско-Донецкой впадине этот комплекс имеет ограниченное распространение, хотя и рассматривается как региональная покрывка для нижележащих межсолевых терригенных и терригенно-карбонатных отложений.

Породы верхнего соленосного комплекса вскрыты в разрезах Максаковской, Видельцевской, Адамовской и других площадей, бессолевой разрез его отмечается на Олишевской и других площадях.

Отложения этого комплекса ожидаются и в центральной части впадины.

Литологически комплекс представлен каменной солью с пропластками терригенных образований (песчаников, алевролитов). В бессолевых разрезах отмечается полное замещение солевых масс терригенными породами. Так, на Видельцевской площади разрез верхнего соленосного комплекса мощностью около 400 м представлен песчано-карбонатными породами, доломитами, чередующимися пачками аргиллитов с алевролитами и ангидритами.

Песчаники и алевролиты, описанные в этом разрезе, обладают весьма низкими коллекторскими показателями. Несмотря на значительную пористость, они практически непроницаемы. Результаты изучения кварцевых, слабоотсортированных средне- и мелкозернистых песчаников показали, что пористость их чаще всего не превышает 3–5%, редко достигая 14%, а проницаемость колеблется от долей до 3–5 мД. Низкая проницаемость пород объясняется засолением пор пород.

В бессолевых разрезах этого комплекса, особенно в местах развития эффузивно-туфогенных образований, могут быть развиты

коллекторы сравнительно невысоких классов смешанного порово-кавернозно-трещиноватого типа. Так, на площади Олишевка из интервалов 2605-2832 и 2360-2365 м (скважины 5 и 6) получены притоки минерализованной воды 19 и 13,0 м³/сутки. Пористость пород здесь не превышает 5%, а проницаемость 1-2 мД. На Максак-овской площади (скв. 1) в интервале 1891-1902 м, а также в скв. 4 и 5 Видельцевской площади в трещинах и порах пород отмечены нефтепроявления. Из верхнесоленосных отложений Припятской впадины получена промышленная нефть на Северо-Домановичской площади, а нефтепроявления обнаружены на Ельской и Октябрьской площадях.

Таким образом, отложения верхнего соленосного комплекса в основном должны рассматриваться как покрывка, хотя не исключена возможность, что внутрисолевые карбонатно-терригенные образования могут формировать комбинированные порово-трещинно-кавернозные емкости - вместилища нефти и газа.

Надсолевой комплекс осадочных образований фаменского яруса завершает разрез девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины. Породы указанного комплекса относятся к лебедянско-данковскому горизонту. Наиболее полно они изучены в разрезах Анисовской, Ладинской, Видельцевской, Ивановской, Олишевской, Максак-овской, Бахмачской, Леляковской площадей. Мощность этих отложений сильно изменяется - от 10 м (Анисовская, Максак-овская площади) до 600-1000 м (Олишевская, Видельцевская площади).

В составе надсолевого комплекса пород выделяются нижняя - терригенная и верхняя - туфогенная толщи (адамовская и видельцевская свиты).

В разрезе надсолевого комплекса встречены эффузивно-пирокластические породы (на северо-западе). На юго-востоке преимущественно развиты песчаники, алевролиты, аргиллиты, реже - доломиты и мергели.

На Видельцевской, Олишевской, Анисовской, Бахмачской, Леляковской и других площадях в разрезах скважин преобладают песчаники полимиктового состава мелко-, средне- и разномерные, плохоотсортированные, глинистые, реже - известковистые. В шлифах чаще всего отмечаются базальный и базально-поровый типы цемента.

Пористость таких песчаников достигает 10-18%, проницаемость - низкая, обычно не превышающая нескольких миллидарси. В описываемой части разреза девонских отложений имеются значительные трещиноватые зоны, по которым движутся флюиды. Так, в разрезе скв. 21 Леляковской структуры (интервал 4026-4035 м) встречены грубозернистые слабоизвестковистые трещиноватые песчаники. Трещиноватость песчаников достаточно интенсивная, особенно по напластованию. Трещины - открытые, без минерального выполнения. Открытая пористость этих песчаников (суммарная) составляет около 9%, проницаемость - до 1 мД и обязана в основном трещиноватости.

По данным интерпретации материалов промысловой геофизики, в описываемом разрезе не отмечено пластов, обладающих хороши-

ми коллекторскими показателями. Данные испытания скважин на Малодевицкой, Монастырищенской и других площадях показывают малолетитность притоков воды (до $4 \text{ м}^3/\text{сутки}$) из наиболее перспективных интервалов. Более перспективными в составе надсолевого комплекса являются породы эффузивно-туфогенного и пирокластического образования. Для них характерны высокие (10–20%) значения пористости, достигающие иногда 30%, удовлетворительная проницаемость, хотя в большинстве случаев, даже при достаточно высоких значениях пористости, проницаемость пород не превышает единиц, редко десятка миллидарси. Только в скв. 21 на Западно-Михайловской площади (интервал 1397–1402 м) встречен песчаник с проницаемостью 360 мД, по-видимому, обусловленной его трещиноватостью. С трещиноватыми коллекторами, вероятно, связаны обильные притоки воды в скважинах 231 и 3 на Ладинской площади, а также ряд нефтепроявлений на Чернухинской, Левенцовской и Зачепиловской площадях.

В заключение следует отметить, что коллекторские свойства девонских образований Днепровско-Донецкой впадины изучены еще недостаточно для уверенной классификации их по литологическим и структурно-текстурным признакам. Литофациальные карты по отдельным стратиграфическим комплексам девона Днепровско-Донецкой впадины отсутствуют, в связи с чем не представляется возможным достаточно уверенно судить о площадном распространении коллекторов тех или иных литотипов. Тем не менее имеющийся фактический материал позволяет оптимистически оценивать коллекторские свойства пород разреза девона и дает основание считать, что распространение коллекторов по площади оправдывает высокие перспективы девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины в целом.

Для прогноза коллекторских свойств пород на больших глубинах важны результаты изучения влияния вторичных изменений на структуру пустотного пространства пород. Ниже изложены первые результаты изучения вторичных изменений в терригенных коллекторах девона с помощью растрового электронного микроскопа.

ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА

Сложность состава и строения терригенных пород-коллекторов девона, разнообразие термодинамических условий их залегания на исследуемой территории Днепровско-Донецкой впадины обусловили существенные различия в интенсивности развития вторичных процессов. Большие возможности для детального изучения вторичных изменений открываются при использовании растрового электронного микроскопа (РЭМ), позволяющего обнаружить:

- 1) несовершенство структуры монокристаллов различных минералов;

2) многофазность вещества одного и того же состава, например фазовые переходы кремнезема;

3) многокомпонентность тонкодисперсного вещества, в частности не резко выраженные переходы одних глинистых минералов в другие;

4) соотношения кремнезема различных фаз с глинистым веществом.

В общих чертах в изученных существенно кварцевых коллекторах вторичные преобразования обломочной части выражаются в регенерации зерен кварца, иногда частичном их растворении по краям обломков, конформном, реже инкорпорационном сочленении обломочных зерен. В мономинеральных кварцевых песчаниках часто встречаются участки с мозаичной структурой.

Структурно-морфологический облик кристаллов часто свидетельствует о неоднородном составе отдельных минералов, переходном их состоянии, что выражается в несовершенстве кристаллических форм монокристаллов, рыхлости вещества. Иногда можно наблюдать, как один минерал как бы вырастает из другого.

Химическая неоднородность вещества, многофазность, различная степень раскристаллизации хорошо видны на электронно-микроскопических снимках.

Рассмотрение вторичных изменений как обломочной части, так и глинистого вещества показывает, что преобразования, которые происходят в песчаниках, осуществляются в основном (во всяком случае на последних этапах формирования породы) за счет местного перераспределения вещества. Привнос и вынос минерального вещества могли осуществляться на таких глубинах и в таких древних отложениях лишь в небольших масштабах или локально при определенных геологических условиях. Основные же процессы вторичных преобразований предопределены первичным обломочным составом пород и той геохимической обстановкой, в которой происходило осадконакопление.

Изучение песчаников существенно кварцевого состава с помощью растрового электронного микроскопа позволило увидеть все модификации кремнезема от опала до кварца как результат вторичных преобразований обломочного кварца. При этом можно четко видеть и различные взаимоотношения кремнезема с глинистыми минералами.

Исследованные породы, как было установлено, в основном претерпели стадии среднего эпигенеза (катагенеза). На стадии эпигенеза часто проявляется точечный эффект, ранее выявленный А.В. Копелиовичем (1965), когда в одном и том же зерне одновременно на одной поверхности происходит растворение, а на другой — регенерация при одновременном замещении одного минерала другим.

Вторичные изменения изучались как в шлифах, так и на естественных сколах образцов с помощью РЭМ. Границы регенерационных каемок и интенсивность регенерационного процесса лучше видны в шлифах. Полистадийность вторичных преобразований более надежно исследовать при одновременном изучении шлифов и электронно-мик-

роскопических снимков сколов. Так, например, проводилось изучение регенерированных поверхностей кварца, подвергнутых последующему растворению и замещению глинистыми минералами.

Точечный эффект, по А.В. Копелиовичу, можно видеть на микрофотографиях¹ сколов песчаника (рис. 1, 2, табл. I). Аутигенный кварц в этом песчанике имеет чистые плоскости правильной огранки, плоскость растворения и регенерированный участок со слоями роста. На рис. 1 в верхней половине, виден участок раскristаллизации кремнезема с одновременным формированием глинистых частиц — изогнутые частицы гидрослюд (более острые мелкие частицы можно отнести к серициту).

Различные модификации кремнезема можно видеть не только в одном образце, но даже на одном небольшом участке. Так, на рис. 3, 4 (табл. I) представлен участок цемента, где видны кристаллики аутигенного кварца различных кристаллографических форм и самых различных размеров и пленки опала с зародышами уже кристаллических форм кремнезема. Рядом, выше и вокруг, наблюдаются аутигенные гексагональные пластинки каолинита различной ориентировки. То же самое можно видеть на микрофотографиях рис. 5, 6 (табл. I). Следует отметить сразу, что при перекристаллизации вещества образуются пустоты различных размеров и форм, а также небольшие трещины.

На снимках 1, 2, 3 (табл. II) видно несколько фаз аутигенного кремнезема. Сама форма кристалла принадлежит уже кварцу, но это еще не кварц, на одной плоскости видна слоистость, а на верхней грани — чешуйки-листочки и полуаморфные бугорки других фаз кремнезема. Атомы еще не заняли своих позиций в кристаллической структуре монокристалла. Весь "рыхлый" облик кристалла свидетельствует о неупорядоченной структуре минерала. На микрофотографиях наблюдаются пустоты и трещины, образующиеся при перекристаллизации.

На электронно-микроскопических снимках сколов представляется возможным наблюдать случаи одновременной или последовательной раскristаллизации нескольких фаз кремнезема и глинистых минералов различного состава и оценить степень совершенства как отдельных кристаллов, так и их сростков. Так, например, при формировании кристаллов аутигенного кварца или регенерационных граней вокруг обломков свободный алюминий вместе с кремнеземом может образовывать каолинит. Такой процесс виден на рис. 4, 5, 6 (табл. II). На этих фото гексагональные таблички и целые пакеты каолинита как бы вырастают из регенерационной грани кварца. При этом заметно, что рост кристалликов каолинита приурочен к дефектным участкам различных плоскостей кварца, где структура кварца еще несовершенна.

На отдельных участках пород, где при раскristаллизации кремнезема присутствуют калий и алюминий, происходит почти одновре-

¹ Все микрофотографии приведены в конце книги.

менная кристаллизация кварца и гидрослюд. Иногда образуются смешанно-слоистые образования с присутствием разбухающих пакетов в структуре глинистых минералов. На рис. 1, 2 (табл. III) представлен участок с аутигенными кристалликами кварца, из которых и между которыми растут часто изогнутые, иногда трещиноватые чешуйки гидрослюды, а вокруг видны частично растворенные обломки кварца и хлоритового цемента.

Тонкодисперсная гидрослюда развивается иногда прямо на участках дефектов регенерационных поверхностей кварца (рис. 3, 4, табл. III) и соседних участках в цементе, где они не всегда четко отличимы от слабо оформленных частиц каолинита. Здесь же могут присутствовать пакеты каолинита, иногда, возможно, диккита хорошей окристаллизованности. На рис. 5, 6 (табл. III) также видна одновременная раскристаллизация каолинита, гидрослюды и смешанно-слоистого минерала. Каолинит имеет хорошую окристаллизованность, четкую слоистость пластинок. Базальная поверхность кристалла — чистая, гладкая, однородная; частицы гидрослюды, окаймляющие кристалл каолинита, имеют различную ориентировку, характерны зубчатые, ровные, часто загнутые тонкие края. На микрофотографиях видны тонкая трещиноватость и чешуйчатость, рыхлость микроструктуры минерала в отличие от гладкой чистой поверхности каолинита. Это свидетельствует о присутствии разбухающих компонентов в структуре минерала. В то же время видна нечеткая, еще только намечающаяся гексагональная огранка отдельных кристалликов с рыхлой структурой. Здесь, видимо, процесс раскристаллизации каолинита конкурирует с разбухающими компонентами смешанно-слоистого типа, т.е. в минерале еще в значительном количестве присутствует вода.

При исследовании на растровом электронном микроскопе можно наблюдать преобразования полевых шпатов в песчаниках на самых различных этапах. При этом отмечается, что даже в одном горизонте преобразования минералов одного и того же состава идут не синхронно, зависят от микросреды и первичного состояния обломка. Встречаются плагиоклазы слабо измененные, со следами простого растворения, с четкой препарировкой двойников (рис. 1, 2, 3, табл. IV). Обломки плагиоклаза окатаны и слегка корродированы по краям гидрослюдами.

Выявлены случаи, когда из продуктов растворения плагиоклаза тут же формируется каолинит (рис. 4, 5, 6, табл. IV). Причем на отдельных поверхностях плагиоклаза остаются излишки кремнезема. Каолинит вблизи плагиоклаза формирует хорошие сростки различной ориентировки (рис. 1, 2, табл. V).

Для калиевых полевых шпатов при растворении и выщелачивании более характерны скелетная морфология обломка с распадом двойников на прямоугольные таблички. На рис. 3, 4, 5 (табл. V) виден скелетный обломок калиевого полевого шпата, претерпевший двойной процесс изменения: наряду с растворением и выносом вещества происходило его замещение на месте хлоритом и гидрослюдами, особенно с краев. Там же (рис. 6, табл. V) более четко

видно соотношение калиевого полевого шпата и радиально-лучистого агрегата хлорита.

Вторичные изменения дают целый ряд минералов, который, по А.В. Копелиовичу (1965), имеет следующую последовательность:



Видимо, могут быть и выпадения из этого ряда при определенных условиях преобразования биотита. На электронно-микроскопических снимках трудно точно диагностировать все минералы этого ряда, однако результаты этого процесса можно наблюдать так же, как и полистадийность процессов преобразования одного и того же кристалла биотита. Серия микрофотографий (рис. 1, 2, 3, 4, табл. VI) иллюстрирует срез биотита, секущий спайность кристалла с участками неизменной хорошей спайности и в различной степени гидратированными, измененными вплоть до образования агрегатов чечевицеобразной формы, судить о составе которых с уверенностью трудно. Но в верхней части рис. 4 (табл. VI) виден участок, где изменение биотита находится на переходной стадии монтмориллонит-каолинит с присутствием разбухающих пакетов. Морфология отдельных чешуек имеет элементы гексагональной формы, в целом же эти чешуйки дают сложный разворот в виде "розочек", что характерно для монтмориллонита. Здесь же наблюдаются тонкая трещиноватость, чешуйчатость и некоторая рыхлость листочков, опять-таки характерные для монтмориллонита.

Встречаются случаи, когда биотит находится на стадии преобразования, дающей гидрослюда. На микрофотографиях (рис. 5, 6, табл. VI) наблюдаются изогнутые частицы с неровными краями, которые, по-видимому, можно отнести к гидрослюдам.

В цементе песчаника иногда в значительном количестве развит хлорит различного состава и строения. По хлориту цемента, особенно на контактах с обломочными зернами, широкое развитие получают гидрослюды или серицит. На рис. 1, 2 (табл. VII) видны тонкие острые удлинённые чешуйки серицита, развитого по кремнисто-хлоритовой массе цемента. На рис. 3 (табл. VII) наблюдаются крупные частицы хлорита, окаймляемые тонкими изогнутыми частицами гидрослюды или мелкими острыми частичками серицита.

При преобразовании слоистых силикатов смешанного сложного состава также происходит частичный вынос материала, образование мелких пор и трещин.

Для песчаников девона Днепровско-Донецкой впадины существенно кварцевого состава в целом не характерно присутствие монтмориллонита в цементе. В отдельных же интервалах разреза, где встречаются прослои туфогенных песчаников сложного состава со значительной примесью вулканогенного материала, монтмориллонит является органической составной частью цемента пород. Он является также и одним из признаков наличия вулканогенной примеси, так как развивается по обломкам всевозможного пеплового материала, часто сохраняя при этом общую структуру пепловых частиц. В общем же монтмориллонит, развивающийся по пепловому материалу, имеет характерную структуру. На рис. 4, 5, 6 (табл. VII) видна структура монтмориллонита с широкой разориентацией чешуек, образующих "розы" из лепестков-частиц и ячеистую структуру пустот. На рис. 6 (табл. VII) видны также тонкая трещиноватость, чешуйчатость и общая рыхлость микроструктуры, присущие монтмориллониту.

Следует остановиться также на вторичных преобразованиях, обусловивших различный характер контактов обломочных зерен песчаной размерности.

На участках существенной перекристаллизации кремнезема с формированием аутигенного кварца или широким развитием регенерации обломков, когда происходит формирование правильных кристаллографических поверхностей, возникают четкие ровные границы с тесным прилеганием отдельных граней одновременно растущих кристаллов (рис. 1, табл. IX). Но структура даже монокристаллов, как правило, несовершенна — видны слои роста и различные дефекты на гранях, где обычно развиваются глинистые минералы. Эти участки являются слабыми местами, и в дальнейшем с ними могут быть связаны процессы растворения и перекристаллизации.

В некоторых случаях при развитии регенерационных каемок вокруг обломков кварца могут возникать и такие соотношения на границах, которые свидетельствуют о раскристаллизации кремнезема под влиянием разностороннего давления. Серия микрофотографий (рис. 1, 2, 3, 4, табл. VIII) иллюстрирует этот процесс. Видны две системы

ступенчатости под углом по отношению друг к другу. На самой же границе (рис. 4, табл. VIII) видно образование целой системы правильных мелких ступенчатых ромбоэдров, затухающих в глубь зерна. На основании этих снимков трудно судить о структуре и механизме дислокаций, однако можно утверждать, что наблюдаемые структуры обязаны дефектам, образовавшимся в результате деформаций, связанных со стрессом или тектоническими подвинками.

В процессах регенерации кварца и полевых шпатов мичералы могут соприкасаться на некоторых участках (рис. 2, табл. IX), но при этом остаются пустоты. Сорбционная способность регенерированных поверхностей из-за большой их гладкости и совершенности сильно снижается.

При отсутствии цемента базального типа на участках, казалось бы, плотного прилегания обломочных зерен почти всегда имеется "прокладка" глинистого материала различной ширины, строения и состава. Рис. 3 (табл. IX) иллюстрирует прокладку хлорита волокнистого строения на границе обломков кварца и полевого шпата.

Под поляризационным микроскопом в шлифах часто наблюдается непосредственный контакт обломочных зерен. При изучении на растровом электронном микроскопе оказывается, что на границах контактов обычно присутствует глинистое вещество, которое часто агрессивно ведет себя, корродируя обломки. На рис. 4 (табл. IX) виден контакт обломков кварца с гидрослюдисто-серицитовой прокладкой. Глинистое вещество корродирует нижнее зерно, проникая по дефектам. Рис. 5 (табл. IX) иллюстрирует характер контакта обломков кварца с гидрослюдисто-серицитовым цементом. Глинистое вещество корродирует регенерационную каемку кварца; процесс идет с выносом вещества - образуются пустые пространства.

На рассмотренных примерах разобраны и проиллюстрированы основные вторичные преобразования в песчаных отложениях девона Днепровско-Донецкой впадины. Они, как было установлено, в большинстве случаев обязаны перераспределению вещественного состава самих пород с участием поровых и других типов вод. На отдельных площадях или в отдельных прослоях, локально, в силу определенных геологических условий, возможно участие приходящих минерализованных растворов. К таковым относится и локальный процесс карбонизации, который часто является более поздним и накладывается на предыдущие полистадийные изменения в породах. Кальцит и доломит, имея высокую кристаллизационную способность, ведут себя агрессивно и замещают не только материал цемента, но и песчаные обломки различного состава. Кальцит и доломит обычно развивают хорошие поликристаллы средней и крупнозернистой размерности, тесно сочленяющиеся между собой и оставляющие лишь ослабленные, мелкотрещиноватые зоны по внешним границам. Процессы карбонизации сильно ухудшают коллекторские свойства песчаников. Так, пятнистая доломитизация песчаников Видельцевской площади (обр. 4359) достигает на отдельных участках породы 30%, что

явно снижает коллекторские возможности породы, запечатывая ее поровое пространство.

Локально карбонатизация развита в разрезах площадей Грибово-руднянской (скв. 1, гл. 2840–2844 м) и Брусилловской (скв. 4, гл. 2782–2783 м), где вторичный кальцит составляет до 15% породы. Почти всегда карбонаты присутствуют в отложениях с примесью вулканогенного материала.

Более сложные и интенсивные процессы вторичного преобразования развиты в туфогенных песчаниках, встречающихся, например, на Мринской площади (скв. 210, гл. 2520–2524 м). В этих прослоях коллекторские свойства пород ухудшаются локально, вследствие присутствия монтмориллонита и ряда смешанно-слоистых минералов, развитых по пепловому и пемзовому вулканогенному материалу, а также образующихся при разложении биотита, который иногда достигает 10% от обломочной части породы.

На исследованной территории основными факторами, обусловившими вторичные изменения пород, явились: геостатическое давление и неоднократные тектонические подвижки; температурный режим; гидрогеологические условия; геологическое время, а также, безусловно, первичный вещественный состав пород и их структурно-текстурные особенности.

В различных геологических условиях значение первостепенности перечисленных факторов может изменяться, однако все они оказывают влияние на современное состояние пород и их коллекторские свойства.

Вторичные преобразования пород протекают с участием воды, всегда присутствующей в осадочной толще. При повышенных температурах и давлениях активность воды значительно повышается, способствуя развитию процессов растворения обломочного кварца и глинистых минералов.

При катагенетических процессах происходит перераспределение минерального вещества, при котором немалая роль принадлежит тонкодисперсному рассеянному органическому веществу и всем фазам его преобразования. Как известно, органическое вещество создает восстановительную обстановку в осадке, породе и меняет величину pH. Процессы растворения, регенерации и перекристаллизации по принципу точечного эффекта могут происходить одновременно на очень близких соседних участках породы. Все эти явления на какой-то стадии могут улучшать коллекторские свойства песчаных пород.

Развитие процессов регенерации тесно связано с процессами растворения. Сам процесс растворения в этом случае может благоприятно сказаться на структурной перестройке породы. Он охватывает не только обломочную часть, но и глинистую составляющую породы. Результатом этого процесса является фактически упорядочение структуры как обломочного, так и глинистого вещества. При упорядочении же структуры минералов уменьшается объем вещества, образуются пустоты различной величины и формы. В свободных

пространствах кристаллы растут разориентированно и тем самым укрепляют скелет породы, препятствуя их сжатию, и формируют мелкие сообщающиеся поры. Кроме того, при упорядочении структуры минералов уменьшается их сорбционная емкость.

Так, при регенерации обломочного кварца с поверхностью различной степени шероховатости формируются правильные грани с гладкой поверхностью, что уменьшает сорбционные свойства обломков. При перекристаллизации обычно более мелкого и тонкодисперсного аллотигенного глинистого материала происходит упорядочение его структуры. Аутигенные глинистые минералы обычно имеют более крупные размеры, совершенные формы, упорядоченную структуру, гладкие поверхности частиц, что в целом ведет к уменьшению сорбционной способности и емкости глинистого вещества и образованию микропустот. Так, например, при перекристаллизации аллотигенного каолинита или формировании аутигенного каолината по полевым шпатам образуются достаточно совершенные кристаллы, часто идиоморфные, крупные, образующие червеобразные, вермикулитового типа сростки, разнообразно ориентированные в пространстве, что обеспечивает образование микропор, их сообщаемость между собой. Отмеченные явления, как результат вторичных преобразований песчаников, положительно влияют на коллекторские свойства песчаников, формируя новую структуру поровых пространств.

Однако не все вторичные преобразования идут с отдачей воды и упорядочением структуры минералов. Разложение биотита начинается с гидратации, что приводит к образованию ряда слоистых силикатов, в том числе монтмориллонита и смешанно-слоистых, с разбухающими компонентами в структуре, способными сорбировать воду, разбухать, запечатывая поровые пространства песчаных пород. Такие преобразования явно ухудшают коллекторские свойства пород, но положительно влияют на изолирующие свойства пород-покрышек.

Результаты изучения литолого-петрографических особенностей пород, коллекторских свойств, вторичных преобразований были использованы при постановке исследования деформационных свойств и проницаемости пород в термодинамических условиях, типичных для продуктивных толщ девона.

Методики и результаты этого экспериментального исследования изложены в следующей главе.

**ВЛИЯНИЕ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА
ПОРОД**

Для прогноза коллекторских свойств пород на больших глубинах впадины важны количественные оценки их упругих изменений в пластовых условиях и прежде всего — под действием напряжений, вызываемых весом вышележащих пород и температуры.

Как показано в работах (Добрынин, 1965, 1970; Авчян, 1972; Павлова, 1975), изменения коллекторских свойств достаточно заметны даже в случае относительно неглубокого залегания продуктивных пластов, изменения же на глубинах свыше 3 км настолько существенны, что учет их, особенно при подсчете геологических запасов нефти и газа, совершенно необходим.

Ниже рассмотрено влияние термодинамических параметров главным образом на терригенные породы девонских отложений, как наиболее перспективные при поисках нефти и газа. В небольшом объеме для сравнения изучено также изменение коллекторских свойств эффузивных пород, а также терригенных коллекторов нижнекаменноугольных отложений, преимущественно из разрезов структур, приуроченных к центральной части впадины.

Детальная минералого-петрографическая характеристика испытанных пород представлена в табл. 2. По данным таблицы можно видеть, что отобранный керновый материал представляет все типичные для отдельных стратиграфических подразделений девона литологические разности терригенных пород (гранулярные и трещинные).

Трещинные песчано-алевритовые породы, как это было показано в работе В.М. Бортницкой и Э.С. Алешкиной (1974), составляют примерно 10% в разрезе малопористых разностей песчаников и алевролитов, повышая их проницаемость до десятков миллидарси.

Каждый литологический тип представлен большим числом пород, охватывающим широкий диапазон разностей как по минералого-петрографическим особенностям, так и по коллекторским свойствам. Такой подбор материала позволил установить зависимости упругих изменений показателей коллекторских свойств пород разного состава и строения. Очевидно, что для решения конкретных задач практического использования результатов исследования при подсчетах геологических запасов, гидродинамических расчетах, связанных с

разработкой месторождений нефти и газа, или при оценке перспектив глубокозалегающих отложений необходимо получение возможно более полной информации об изменении коллекторских свойств пород, что обуславливает выбор экспериментальной техники и методов исследования.

В связи с существенной неоднородностью исследуемых пород (связанной как с условиями седиментации, так и с вторичным преобразованием пород, в том числе развитием в них трещин) представляла интерес раздельная оценка деформаций объема (по напластованию и перпендикулярно ему).

При проведении исследований необходимо было учитывать, что для разных участков земной коры характерны как равномерное объемно-напряженное состояние, так и неравномерное с преимущественным развитием сжимающих напряжений (Булин, 1971; Турчанинов, Марков, Иванов, 1969).

Аппаратура и методики, применяемые при проведении исследований, допускали возможность изучения полного тензора деформаций в условиях равномерного и неравномерного трехосного сжатия при изменении поровых давлений и температур в широком диапазоне. Ниже приводится краткое их описание, поскольку подробно эти вопросы ранее рассматривались в ряде работ (Павлова, 1970, 1975).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения деформационных и механических свойств пород в условиях равномерного и неравномерного, трехосного сжатия использовалась установка УИМК конструкции Института геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ) и Института переработки нефти (ВНИИМП) (Байдюк, Павлова, Бабушкин, 1962; Павлова, 1975). Установка УИМК позволяет проводить испытания при термодинамических параметрах, типичных для глубин до 15–20 км (всестороннее равномерное сжатие до 5000 кгс/см², поровое давление до 1500 кгс/см², температура до 350°C). На установке можно изучать деформационное поведение пород при неравномерном объемном сжатии. Применяемую методику изучения деформационных свойств на установке УИМК отличает дифференцированная оценка деформаций объема, осуществляемая с помощью упругих скоб с наклеенными на них тензодатчиками. При испытаниях применялись два типа датчиков: 2ПКП-100ГБ – в случае проведения опыта при комнатной температуре и никель-молибденовые датчики конструкции Института машиноведения, наклеиваемые высокотемпературным клеем ВН-15Т, – в случае проведения испытаний при температуре до 300–350°C.

Разбалансы показаний тензодатчиков упругих измерителей деформаций, соединенных в мосты Уинстона, совмещаются по времени и регистрируются на одном графике с помощью двухкоординатного

Таблица 2

Литолого-петрографическая характеристика коллекторов нижнего карбона при различных объемных напряженных состояниях

Номер образ-ца	Гео-текто-ничес-кая зона *	Площадь, скважина, глубина залегания, м	Возраст	K _{п общ} , (K _{п отк}), %
<i>Песчаники кварцевые</i>				
19486	ЦЧГ	Опошнянская, 12,2997-3005	C ₁	22,2
357	СКЗ	Новотроицкая, 12,3363-3369	C ₁	19,8
358	СКЗ	" 12,3363-3369	C ₁	16,5
560	ЦЧГ	Довжиковская, 1,1855-2044	C ₁	24,6
562	"	" 1,1855-2044	C ₁	15,6
15421	ЦЧГ	Анастасьевская, 6,4385-4392	C ₁	8,9
15909	СКЗ	Рыбальская, 35,3658-3666	C ₁	10,3
15908	СКЗ	" 35,3658-3666	C ₁	14,3
19917	ЦЧГ	Чижевская, 21,3360-3363	C ₁	21,0
15360	ЦЧГ	" 20,3787-3797	C ₁	16,2
15404	ЦЧГ	Артюховская, 1,4276-4288	C ₁	13,6
14885	ЦЧГ	Харьковцевская, 1,3824-3835	C ₁	18,0
19911	ЦЧГ	Чижевская, 21,3358-3360	C ₁	10,7
15373	ЦЧГ	Харьковцевская, 1,4458-4468	C ₁	13,6
15916	СКЗ	Рыбальская, 35,3691-3696	C ₁	10,1
17304	ЮКЗ	Малосорочинская, 8,2747-2757	D ₂	22,6
17308	ЮКЗ	" 8,2885-2895	D ₃	13,8
7428	СКЗ	Грибоворуднянская, 2,2593-2600	D ₂ ^{2st}	16,2 11,9
17907	ЦЧГ	Середняковская, 1, 4241-4246	D ₃ ¹	10,2
16587	ЦЧГ	Малосорочинская, 8,3032-3045	D ₃ ^{2st}	15,1

и девона Днепровско-Донецкой впадины, отобранных для испытаний

Обломочная часть, %				Цемент				
кварц	поле-вые шпа-ты	эффу-зивы	дру-гие компо-ненты	%	компоненты			тип **
					глина	карбо-наты	другие	
6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Песчаники кварцевые</i>								
70	2,5	0,5	-	17,0	11,6	6		КП
70	-	-	20	10	-	5	5	ПП
83	-	-	2	15	10	-	5	ПП
95	-	-	-	5	-	5	-	Р
70	-	10	-	20	5	15	-	-
85	-	-	2,5	12	9	3	-	П+БЦ
80	-	-	0,5	16	3	8	5	КП+Р
80	-	-	0,5	11,5	-	8	3,5	П
88	-	-	-	2	-	-	2	П+Р
75	-	-	3	15	15	-	-	П+БЦ
75	-	-	-	15	5	5	5	Р
85	-	-	3,5	6,5	3,5	3	-	БЦ+П
90	-	2,0	3,0	-	2	2	-	Р+БЦ
85	1	0,5	4,0	2,5	2,5	-	-	БЦ
70	-	-	-	30	-	28	2	КП
75	-	-	2	13	2	11	-	ВП+Р
90	2	1,5	3,5	-	-	-	-	БЦ
90	-	2,5	-	3,5	-	3,5	-	Р+П
80	-	-	1	19	19	-	-	КП

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
16586	ЦЧГ	Малосорочинская 8,2606-2611	D ₃ ²	19,2
7430	СКЗ	Грибоворуднянская, 2,2639-2644	D _{2 st} ^{2 2}	6,74
6649	ЦЧГ	Брусилловская, 4,2782-2793	D _{2 st} ^{2 2}	10,7
17905	ЦЧГ	Середняковская, 1,4241-4246	D ₃ ¹	5,8
7367	СКЗ	Борковская, 10,2626-2634	D _{3 ev-lv} ^{1 2}	4,5 (2,4)
<i>Песчаники полимиктовые</i>				
300	ЮКЗ	Зап.Михайловская, 21,1397-1402	C ₁	21,73
371	СКЗ	Новотроицкая, 17,3365	C ₁	3,87
655	ЮКЗ	Видельцевская, 14,2884-2889	D ₃	10,25
656	ЮКЗ	" 14,2884-2889	D ₃	7,8
2619	ЮКЗ	Олишевская, 239,2451-2456	D	2,0 (1,79)
2626	ЮКЗ	" 239,2623-2636	D	(13,8)
2631	ЮКЗ	" 239,2803-2814	D	13,42
2632	ЮКЗ	" 239,2926-2931	D	1,80
4353	ЮКЗ	Видельцевская, 1,2264-2267	D _{3 ev-lv} ^{1 2}	5,5 (4,53)
6440	ЮКЗ	Мринская, 210,2520-2524	D _{3 zd-el} ^{1 1}	7,84
6459	ЮКЗ	" 210,3142-3144	D _{3 ev-lv} ^{1 2}	2,3 (1,78)
6458	ЮКЗ	" 210,3142-3144	D _{3 ev-lv} ^{1 2}	3,19
6684	ЮКЗ	Лосиновская, 215,2911-2924	D _{3 al} ^{1 2}	7,4 (5,67)
372	СКЗ	Новотроицкая, 17,3365	C ₁	8,46
370	СКЗ	" 17,3345-3365	C ₁	15,0
1024	ЮКЗ	Виноградовская, 6,3534-3591	C ₁	9,57
7637	СКЗ	Грибоворуднянская, 655,1456-1462	D _{2 st} ^{2 2}	8,99 (7,96)

6	7	8	9	10	11	12	13	14
70	-	-	-	13	3	10	-	П
65	-	2,5	7,5	25	5	15	5	С+ВП
70	-	-	5,5	16	16	-	-	С+ВП
75	-	-	1,5	24	15	9	-	КП
70	-	0,5	15,5	14	14	-	-	С+ВП
<i>Песчаники полимиктовые</i>								
62	6	30	3	20	-	20	-	СЗ
35	36	-	-	26	4	20	2	П
-	-	-	-	-	-	25	-	СБ+С
25	65	3	7	-	-	-	-	БЦ
25	30	15	10	20	15	5	-	С+ВП
25	55	5	14	11	4	7	-	С+БЦ
35	35	3	18	7	-	7	-	С+ВП
40	7	-	22	30	30	-	-	Б
45	20	-	10	25	10	15	-	ВП
30	20	-	20	30	30	-	-	П
30	20	-	20	30	30	-	-	П
35	25	-	24	16	15	1	-	П
25	25	-	-	50	-	20	30	СП+СВ
50	32	-	-	18	15	3	-	НП+П
35	30	-	-	15	-	15	-	П
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2629	ЮКЗ	Олишевская, 239,2814-2824	D	11,52	30	30	14	15	6,5	5	1,5	-	С
2628	ЮКЗ	" 139,2593-2600	D	2,39	30	40	13	11	5	3	2	-	БЦ
7480	ЮКЗ	Видельцевская, 4,2706-2710	$D_{3\text{el-lb}}^2$	3,08									
5290	ЮКЗ	" 3,2503-2511	$D_{3\text{el}}^1$	17,0 (11,79)	25	57	2	16	-	-	-	-	БС
5311	ЮКЗ	" 3,2876-2891	$D_{3\text{zd}}^2$	1,66	40	27	-	3	30	-	30	-	БЦ
7429	СКЗ	Грибоворуднянская, 2,2600-2613	$D_{2\text{st}}^2$	7,86	30	48	-	1,5	20	6	14	-	С+ВП
654	ЮКЗ	Видельцевская, 4,2884-2889	D_3	12,52	30	30	-	-	25	-	20	5	Б+П
657	ЮКЗ	" 4,2884-2889	D_3	14,0	40	36	-	-	23	5	18	-	НБ
6743	ЮКЗ	Лосиновская, 215, 3213-3220	$D_{3\text{el}}^2$	7,8 (7,09)	30	25	-	-	25	10	15	-	П
7487	ЮКЗ	Видельцевская, 4,2884-2889	$D_{3\text{el}}^2$	6,51	30	35			27	12	15	-	ВП
7497	ЮКЗ	" 4,3085-3099	$D_{3\text{el}}^2$	9,23 (6,19)	-	-	-	-	30	15	15	-	-
7500	ЮКЗ	" 4,3304-3306	$D_{3\text{el}}^2$	5,3 (4,63)	30	35	4	7	25	10	15	-	С+ВП
7519	ЮКЗ	" 4,3560-3562	$D_{3\text{zd}}^2$	4,1 (3,89)	20	35	3	19,5	22	7	15	-	С+ВП
7556	ЮКЗ	" 4,1737-1743	$D_{3\text{el}}^2$	7,7	25	35	-	13	27	7	20	-	С+ВП
4903	ЮКЗ	Пирятинская, 1,2415-2421	$D_{3\text{el}}^2$	7,18	15	35	35	1	20	-	-	20	Б
7324	СКЗ	Грибоворуднянская, 1,2840-2844	$D_{2\text{pr-nr}}^2$	2,3 (2,02)	30	10	10		50	-	50	-	БЦ
3903	ЮКЗ	Пролетарская, 15,3935-3941	$D_{3\text{ev-lv}}^1$	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	КП+Р
3959	ЮКЗ	Калайдинцевская, 413,4319-4327	D_3^2	9,7	30	45	-	-	25	5	20	-	П
3680	ЮКЗ	Хрещатинская, 1,2536,7-2548	D	13,9	30	20	-	-	-	-	-	-	П
13503	ЮКЗ	Белоцерковская, 232,1810,8-1815,8	D	11,1	15	10	15	10	50	-	50	-	Б
17313	ЦЧГ	Малосорочинская, 8,3168-3174	D	7,8	50	25	-	-	-	18	7	-	КП
3947	ЮКЗ	Калайдинцевская, 413,3151-3155	$D_{3\text{fm}}^2$	-	30	28	-	2	40	15	25	-	П+Б

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5
3686	ЮКЗ	Хрещатинская, 1,2796,85-2803,45	$D_{3^1}^{2^1}zd-el$	18,7 (10,8)
7366	СКЗ	Борковская, 10,2599-2605	$D_{3^1}^{2^1}zd-el$	-
6440	ЮКЗ	Мринская, 210,2563-2568	$D_{3^1}^{2^1}zd-el$	7,84
<i>Туфоогенные и другие породы</i>				
6169	ЮКЗ	Видельцевская, 5,2962-2966	$D_{3^1}^{2^1}zd$	7,40 (4,68)
6471	ЦЧГ	Сорокошичи-Репки, 651,1911-1918	$D_{3^1}^{2^1}ev$	10,40
7372	СКЗ	Боровская, 10,2661-2669	$D_{3^1}^{2^1}ev-lv$	4,48 (2,71)
3687	ЮКЗ	Хрещатинская, 1,2796,8-2803,5	$D_{3^1}^{2^1}zd-el$	18,9
7398	СКЗ	Грибоворуднянская, 2,2164-2177	$D_{3^1}^{2^1}ev$	8,24 (6,10)
7604	ЮКЗ	Видельцевская, 661,2513-2523	D_3	12,29
7607	ЮКЗ	" 661,2567-2573	D	14,3 (11,58)
6628	ЦЧГ	Брусилловская, 4,2387-2393,5	D_3	9,67 (8,81)
16420	ЮКЗ	Ульяновская, 1,3085-3094	D	10,5
16418	ЮКЗ	" 1,3085-3094	D	10,0
6246	ЦЧГ	Сорокошичи-Репки, 651,1411-1424	$D_{3^1}^{2^1}ev-lv$	6,62

6	7	8	9	10	11	12	13	14
50	25	5	-	20	-	-	-	КП
25	18	-	58	-	-	-	-	БЦ
				25	10	15	-	-
<i>Туфоогенные и другие породы</i>								
-	-	55	15	15	-	15	-	ПП
-	10	58	-	28	8	20	-	С+ВП+ВБ
5	35	40	8	7	7	-	-	ПП
40	30	10	-	-	-	-	-	КП
0,5	1,5	90	2,5	3	-	-	-	С+ВП
-	-	10	90	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	85	-	15	-	15	-	Б
50	45	-	5	-	-	-	-	-
50	45	-	4,5	-	-	-	-	-
8	-	1	99	-	-	-	-	-

* ЮКЗ - южная краевая зона; СКЗ - северная краевая зона; ЦЧГ -
 ** Типы цементации: П - поровый; К - контактовый; БЦ - бесцементный; Н - неравномерный; С - сгустковый.

центральная часть грабена.
 тный; СЗ - срастание зерен; ПП - пленочно-поровый; Б - базальный;

самопишущего потенциометра ПДС-021М. На графике одновременно отмечаются величины эффективных напряжений.

Влияние давления на показатели упругих тензометров оценивалось по данным предварительной тарировки. При проведении настоящих исследований на установке УИМК изучали: 1) деформации объема (раздельно продольную $\epsilon_1 = \frac{\Delta l}{l}$ и радиальную $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \frac{\Delta d}{d}$, где l и Δl ; d и Δd — соответственно длина измеряемой части образца и ее изменение, диаметр образца и его изменение), а также общее изменение объема $\epsilon_V = 2\epsilon_2 + \epsilon_1$; 2) коэффициенты сжимаемости пород

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma_{\text{эф}}} \right)_{t = \text{const}; p_{\text{II}} = \text{const}}, \text{ см}^2/\text{кгс}, \text{ где } V - \text{текущий объем по-}$$

роды при эффективном напряжении $\sigma_{\text{эф}} = \sigma_{0H} - p_{\text{II}}$ (σ_{0H} — внешнее равномерное давление, p_{II} — давление насыщающей породу жидкости), равный разности $V_0 - \Delta V$ (V_0 — объем образца при атмосферном давлении; ΔV — его уменьшение при заданной величине $\sigma_{\text{эф}}$). Частная про-

изводная $\frac{\partial V}{\partial \sigma_{\text{эф}}}$ определяется путем графического дифференцирования зависимости: $\epsilon_V = f(\sigma_{\text{эф}})$, p_{II} ; 3) коэффициенты сжимаемости по-

рового пространства пород при различных значениях эффективных напряжений и температур, вычисляемые по формуле, связывающей коэффициенты сжимаемости пород β , пор β_{II} , твердой фазы $\beta_{\text{ТВ}}$ и коэффициент пористости K_{II} (Geestsma, 1957; Добрынин, 1970):

$$\beta = \beta_{\text{II}} K_{\text{II}} + \beta_{\text{ТВ}},$$

$\beta_{\text{ТВ}}$ по экспериментальным данным, полученным ранее (Добрынин, 1970; Павлова, 1975) принимался равным $0,27 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{кгс}$ для кварцевых песчано-алевритовых пород и $0,30 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{кгс}$ — для полевошпатово-кварцевых пород; 4) коэффициенты пористости при эффективных напряжениях $K_{\text{II}} \sigma_{\text{эф}} t$, определяемые разностью $K_{\text{II атм}} - \epsilon_V \sigma_{\text{эф}} t$, где $K_{\text{II атм}}$ — коэффициент открытой или общей пористости.

Коэффициенты проницаемости пород изучались на установке КВО-1 конструкции Всесоюзного научно-исследовательского института нефтяной геологии (ВНИГНИ) по методике, разработанной в ИГиРГИ, и измерялись при стационарной фильтрации газа в условиях внешнего давления до $1200 \text{ кгс}/\text{см}^2$ и температур до 200°C .

Внешний обжим создавался с помощью вакуумного масла ВМ-4, при этом образец изолировался от жидкости, создающей давление, тонкостенной медной оболочкой. В качестве фильтрующего агента в установке использовался газ — азот, что позволило избежать физико-химического воздействия жидкости на породу. В установке не моделировалось пластовое давление жидкости или газа, что учитывалось при выборе внешнего давления σ_{0H} , рассчитываемого по формуле эффективного напряжения. В частном случае измерения $K_{\text{II пр}}$ при напряжении $\sigma_{\text{эф}}$ на глубине залегания H : $\sigma_{0H} = \sigma_{\text{эф}} H = 1,3 \text{ H}$.

Обогрев кернодержателя осуществлялся снаружи нагревателем из нихромовой проволоки, температура измерялась термометром сопротивления, регулирование — автоматическое с помощью моста МСР-01, а контроль — с помощью универсального моста УМ-3.

Поровое давление фиксировалось образцовым манометром. Давление до 800 кгс/см^2 в камере высокого давления создавалось ручным насосом и доводилось до 1200 кгс/см^2 с помощью мультипликатора. Давление объема газа регистрировалось с помощью образцового манометра. Объем газа, прошедшего через образец, измерялся микробюреткой-газомером с мыльной пленкой.

Установка позволяет производить измерения коэффициентов проницаемости от $2,5 \cdot 10^{-7}$ до тысяч мД. Испытания проводятся при небольших величинах порового давления газа $p_{\text{п}}$ (до 15 кгс/см^2), при этом значения $p_{\text{п}}$ подбираются таким образом, чтобы измеряемый объем газа, фильтрующийся через образец (40 мл), проходил за 30–50 сек. Практически $p_{\text{п}}$ колеблется в опытах от нескольких сотых долей до $10\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$.

Результаты измерений расхода и давления газа (азота) использовались для расчета коэффициента проницаемости пород по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = \frac{P_6 Q_6 \eta l \cdot 10^3}{S(P_1 - P_2) \bar{P}} \text{ (мД)},$$

где P_6 — барометрическое давление, кгс/см^2 ;
 Q_6 — расход газа, отнесенный к барометрическому давлению и температуре испытания, $\text{см}^3/\text{сек}$;
 η — вязкость азота, сП;
 l — длина образца, см;
 S — площадь поперечного сечения образца, см^2 ;
 P_1 — абсолютное давление газа до образца, кгс/см^2 ;
 P_2 — абсолютное давление газа после образца, кгс/см^2 ;
 $\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$ — среднее давление в образце, кгс/см^2 .

Ввиду того, что P_6 мало отличается от 1 кгс/см^2 , в расчетах его принимали равным 1 кгс/см^2 .

Если вычислялся коэффициент проницаемости породы в опыте с температурой, то учитывали расширение азота под действием температуры. Коэффициент расширения азота подсчитывался по формуле

$$K_t = \frac{273 + t_{\text{обр}}}{273 + t_{\text{к}}},$$

где $t_{\text{обр}}$ — температура, при которой испытывался образец, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{\text{к}}$ — комнатная температура, $^{\circ}\text{C}$.

В этом случае в формулу расчета $K_{\text{пр}}$ вводился в качестве множителя коэффициент K_t .

Результаты испытаний обрабатывались в виде графиков зависимостей $K_{\text{пр}} = f(\sigma_{\text{эф}})_{t=\text{const}}$ и таблиц абсолютных величин и относительных изменений коэффициентов проницаемости:

$$\frac{\Delta K_{\text{пр}}}{K_{\text{пратм}}} = \frac{K_{\text{пр}} \sigma_{\text{эф}} t - K_{\text{пратм}}}{K_{\text{пратм}}}$$

где $K_{\text{пратм}}$ — коэффициент проницаемости породы в атмосферных условиях при комнатной температуре.

Как при проведении испытаний, так и при обработке их результатов были использованы многие положения методик изучения физических свойств пород, разработанных в лаборатории высокого давления при кафедре промышленной геофизики Московского института нефтяной, химической и газовой промышленности (МИНХиГП) (Добрынин, 1965, 1970).

В проводимых испытаниях деформационных свойств и проницаемости пород уровень создаваемых эффективных напряжений иногда превышал $\sigma_{\text{эф}}$ на глубине залегания, что позволило произвести оценку изменений этих свойств до глубин 8–10 км и выявить диапазон напряжений, при которых происходят упругие (обратимые) изменения деформационных характеристик и коэффициентов проницаемости пород, а также уровень напряжений, при которых возникают неупругие (необратимые) изменения в структуре пород и соответствующие им необратимые изменения коэффициентов проницаемости.

Из-за малого диаметра керна, извлекаемого из залегающих на больших глубинах девонских и нижнекаменноугольных отложений, изучение деформационных свойств и проницаемости пород проводилось на образцах диаметром 16, длиной — 25–27 мм.

Изучение коэффициента газопроницаемости проводилось на образцах, предварительно экстрагированных и высушенных до постоянного веса, изучение деформационных свойств — на образцах, экстрагированных и либо насыщенных под вакуумом моделью пластовой воды (хлоркальциевого состава с минерализацией 200–250 г/л), либо (реже) — воздушно-сухих.

Методически испытания проводились следующим образом. После сборки образца и помещения его в камеру высокого давления производилось его медленное обжатие внешним давлением, величина которого не превышала значения эффективного напряжения на глубине залегания.

В случае измерения деформационных характеристик внешнее давление снижалось до уровня порового и эта точка принималась за начало отсчета. Далее внешнее давление увеличивали ступенями, меньшими при малых значениях давления (50 кгс/см²) и большими при величинах давлений, превышающих 150–200 кгс/см². Температура на всех ступенях давления поддерживалась постоянной, равной

либо комнатной, либо характерной для глубины залегания породы. При изучении проницаемости пород давление первичного обжатия образца снижалось до $\sigma_{\text{эф}} = 10 \text{ кгс/см}^2$, при котором производилось первое измерение коэффициента проницаемости. Выбор 10 кгс/см^2 в качестве начального давления позволял с достаточной точностью путем построения определять значение коэффициента газопроницаемости в атмосферных условиях, не привлекая к использованию другой аппаратуры, а следовательно, обеспечивая одинаковую погрешность при измерениях во всем диапазоне давлений.

Исследуемый диапазон эффективных напряжений до значения $\sigma_{\text{эф}}$ на глубине залегания породы, а в ряде случаев и более высоких, предварительно разбивался на 5–10 интервалов, предельные значения $\sigma_{\text{эф}}$ в которых использовались в качестве ступеней промежуточных замеров $K_{\text{пр}}$, необходимых для построения зависимостей $K_{\text{пр}} = f(\sigma_{\text{эф}})$.

Для установления характера деформации пород в исследуемых условиях измерения проницаемости производились как при нагрузке образца, так и при разгрузке. По величинам $K_{\text{пр}}$ при $\sigma_{\text{эф}} = 1 \text{ атм}$ в процессе разгрузки представлялось возможным судить о необратимых деформациях, возникающих под действием эффективных напряжений $\sigma_{\text{эф}} \geq \sigma_{\text{эфН}}$.

Выбор температуры при всех испытаниях производился в зависимости от геотермического градиента в районе отбора образцов. В процессе опыта температура оставалась постоянной.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПРИ ЭФФЕКТИВНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Обобщенные в этом разделе новые данные по сжимаемости порового пространства и коэффициентам пористости кварцевых и полимиктовых песчаников девона Днепровско–Донецкой впадины хорошо согласуются с результатами ранее проведенных исследований свойств коллекторов из разрезов других нефтедобывающих районов (Добрынин, 1965, 1970; Авчян, 1967; Павлова, 1975). Так, диапазоны изменения этих свойств у пород, отнесенных к определенным классам коллекторов, соответствуют ранее установленным для тех же классов коллекторов по значительно большему объему исследуемых пород.

В предлагаемой монографии впервые изучено влияние анизотропии строения песчано–алевритовых коллекторов на их деформационное поведение в условиях эффективных напряжений и температур. Для оценки степени неравномерности деформации объема использовано отношение значения продольной (перпендикулярной к напластованию) деформации породы ϵ_1 к радиальной (по напластованию) $\epsilon_2 = \epsilon_3$.

Таблица 3

Деформационные и коллекторские свойства пород-коллекторов нижнего карбона

Номер образца	Класс коллектора	$K_{п\text{общ}}$, %	Условия испытаний			ϵ , %		$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_{2-3}}$
			$\sigma_{\text{эфН}}$, кгс/см ²	$p_{п'}$, кгс/см ²	t , °C	ϵ_1	ϵ_{2-3}	
<i>Кварцевые песчаники</i>								
19486	I	22,2	390	330	104	0,20	0,19	1,05
14885	II	18,0	500	1	21	0,16	0,21	0,8
19917	II	21,0	465	1	90	0,11	0,12	0,9
15404	II	20,6	560	1	130	0,18	0,22	0,8
15908	IV	14,3	460	1	110	0,08	0,10	0,8
15421	IV	10,7	570	1	21	0,18	0,22	0,8
16587	IV	15,1	350	1	90	0,13	0,14	0,9
7428	IV	11,9	350	1	90	0,11	0,14	0,8
17907	IV	10,2	550	1	130	0,12	0,16	0,75
17905	V	5,8	550	1	130	0,12	0,14	0,9
<i>Полимиктовые песчаники</i>								
3680	III	13,9	325	Сухой	90	0,18	0,24	0,75
3947	III	14,8	415	"	110	0,17	0,20	0,85
2629	IV	11,5	365	1	21	0,05	0,2	0,25
2628	IV	11,5	350	1	21	0,18	0,32	0,6
2631	V	13,4	365	1	21	0,33	0,48	0,7
653	V	10,25	380	250	21	0,1	0,45	0,2
657	V	14,0	380	250	21	-	-	-
1024	V	9,6	450	350	21	0,11	0,37	0,3
17313	V	7,8	350	1	21	0,18	0,17	1,05
6459	V	3,2	400	1	21	0,15	0,2	0,75
13503	V	11,1	235	1	21	0,1	0,13	0,8
3903	V	5,4	340	Сухой	90	0,10	0,10	1,0
3686	V	10,8	365	"	100	0,08	0,14	0,6
3959	V	9,7	560	"	140	0,2	0,27	0,7
<i>Туфопесчаники и эффузивы</i>								
3687	II	18,9	365	1	100	0,18	0,24	0,8
16418	IV	10,0	390	1	21	0,15	0,2	0,8
7604	V	12,2	325	1	90	0,14	0,18	0,8
7607	V	14,3	340	1	90	0,14	0,18	0,8
<i>Опыты с разными поровыми давлениями</i>								
26/43		2,73	570	480	135	-	-	-
26/43		2,73	570	700	135	-	-	-

и девона в термодинамических условиях, типичных для глубин залегания

$-\epsilon_{\text{V}} \sigma_{\text{эфН}}$, %	$\beta \cdot 10^5$ см ² /кгс при $\sigma_{\text{эф}}$		$\beta_{п} \cdot 10^5$, см ² /кгс при $\sigma_{\text{эф}}$			$K_{п\sigma_{\text{эфН}}}$, %	$\Delta K_{п}/K_{п\text{атм}}$, %	
	50	$\sigma_{\text{эфН}}$	50	100	200			
<i>Кварцевые песчаники</i>								
0,61	1,5	1,0	10,0	8,0	5,8	3,2	21,6	2,7
0,59	2,2	0,5	10,2	7,7	5,0	1,1	17,4	3,2
0,35	1,1	0,55	4,0	3,4	3,0	1,9	20,7	1,7
0,65	1,4	0,5	5,5	5,1	4,6	1,0	19,95	3,4
0,27	1,0	0,55	5,3	3,0	2,3	1,8	14,0	1,9
0,65	2,1	0,5	17,6	12,9	8,0	2,0	10,0	6,0
0,40	1,6	0,6	8,8	6,3	4,9	2,0	14,7	2,6
0,39	1,4	0,9	9,3	7,6	6,0	5,2	11,5	8,2
0,44	1,2	0,6	8,8	6,6	5,2	3,0	9,8	4,3
0,39	1,1	0,5	14,7	12,6	8,4	3,7	5,4	6,7
<i>Полимиктовые песчаники</i>								
0,65	3,6	1,1	24,0	12,0	8,2	6,0	13,25	4,6
0,6	2,6	1,4	15,9	10,3	8,3	7,7	14,2	4,0
0,35	1,4	0,65	9,7	6,1	7,1	5,8	11,2	3,0
0,8	3,6	2,4	28,3	24,1	19,1	19,6	10,7	6,8
1,3	5,0	1,0	35,7	24,8	14,9	5,8	12,1	9,0
0,70	3,0	1,0	29,3	22,1	13,5	7,4	9,5	6,7
0,9	3,6	1,6	24,0	18,6	12,8	9,8	13,3	6,5
0,6	3,0	0,9	28,6	24,8	10,5	6,5	9,0	6,2
0,55	2,3	0,6	26,1	20,8	11,9	4,1	7,2	7,2
0,6	2,0	0,9	58,3	55,1	31,0	23,0	2,6	18,09
0,4	1,8	0,9	13,8	11,6	7,0	5,6	10,7	3,6
0,3	1,14	0,8	15,7	13,5	9,9	9,8	5,1	5,5
0,33	1,3	0,7	9,2	6,1	5,5	3,8	10,5	3,0
0,75	2,4	1,0	22,3	16,5	13,7	7,8	8,9	7,8
<i>Туфопесчаники и эффузивы</i>								
0,67	2,6	1,5	12,3	9,1	8,0	6,6	18,2	3,5
0,55	2,1	0,9	18,5	10,5	8,1	6,0	9,4	5,5
0,50	3,7	0,8	28,2	13,4	5,1	4,3	11,7	4,2
0,50	2,5	0,75	15,5	14,3	5,8	3,3	13,8	3,4
<i>Опыты с разными поровыми давлениями</i>								
0,51	2,0	0,6	65,1	-	-	14,1	2,1	18,8
0,67	2,8	1,4	96,9	-	-	57,3	1,9	24,5

В табл. 3 представлены деформационные свойства пород: объемные деформации $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_{V\sigma_i}$, коэффициенты сжимаемости породы

β , пор β_{Π} и пористости K_{Π} при четырех уровнях эффективного напряжения ($50, 100, 200$ и $\sigma_{\text{эф}H}$) при комнатной и пластовой температурах.

Из данных таблицы следует, что наименьшей сжимаемостью порового пространства и относительно небольшим изменением пористости обладают кварцевые песчаники I-II классов. У этих песчаников при напряжениях, типичных для глубин залегания, коэффициенты сжимаемости пор колеблются в пределах от $1 \cdot 10^{-5}$ до $3,2 \cdot 10^{-5}$ см²/кгс, а относительные изменения коэффициентов пористости $\Delta K_{\Pi}/K_{\Pi\text{атм}}$ составляют 1,7-3,4%.

Хорошая сортировка зерен, слабая и средняя равномерная цементированность этих песчаников, отсутствие четко выраженной текстуры определяют почти изотропный характер их деформации $\epsilon_1/\epsilon_2 = 0,8-1,05$.

Кварцевые песчаники IV-V классов и полимиктовые песчаники III класса близки по показателям деформационных свойств. При $\sigma_{\text{эф}H}$ эти песчаники отличают изменения β_{Π} в диапазоне от $1,6 \cdot 10^{-5}$ до $5,7 \cdot 10^{-5}$ см²/кгс и $\Delta K_{\Pi}/K_{\Pi\text{атм}}$ от 1,9 до 8,2.

Анизотропия строения у этих пород выражена заметнее, что связано как с худшей сортированностью этих пород, так и с влиянием полиминерального состава и более высокого содержания цементирующего вещества. Отношение ϵ_1/ϵ_2 у этих пород колеблется от 0,7 до 0,9.

Полимиктовые песчаники и туфпесчаники IV-V классов характеризуют еще большие сжимаемость порового пространства и относительные изменения коэффициентов пористости. У этих пород β_{Π} при $\sigma_{\text{эф}H}$ колеблются в пределах $3,6 \cdot 10^{-5} - 23 \cdot 10^{-5}$ см²/кгс, $\Delta K_{\Pi}/K_{\Pi\text{атм}}$ - от 3 до 19%.

Плохая сортировка, сильная цементированность (особенно полимиктовых разностей песчаников), а в некоторых случаях микрослоистость объясняют существенную анизотропию деформаций объема, отношение ϵ_1/ϵ_2 изменяется у этих пород от 0,2 до 1,05.

Анализ полученных данных свидетельствует о значительном изменении коллекторских свойств песчаников всех литотипов под действием эффективных напряжений и температур, типичных для глубин залегания, и необходимости учета этих изменений при оценке геологических запасов и в гидродинамических расчетах, связанных с разработкой залежей нефти и газа в девонских отложениях.

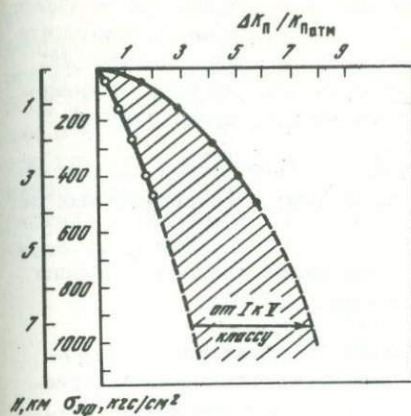


Рис. 2

Рис. 2. Кривые упругих изменений коэффициентов пористости кварцевых песчаников нижнего карбона и девона при эффективных напряжениях и температурах

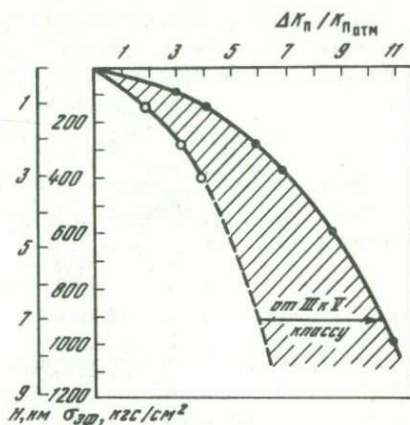


Рис. 3

Рис. 3. Кривые упругих изменений коэффициентов пористости полимиктовых песчаников нижнего карбона и девона при эффективных напряжениях и температурах

Рис. 4. Кривые упругих изменений коэффициентов пористости туфогенных песчаников при эффективных напряжениях и температурах

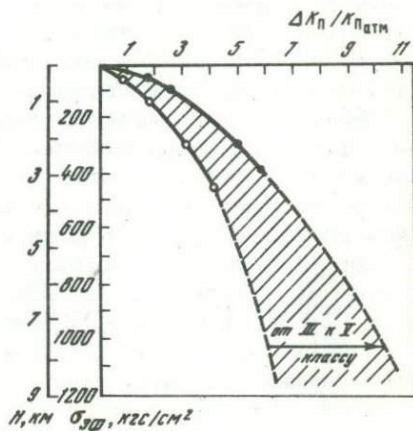


Рис. 4

Характер зависимостей коэффициентов пористости пород разных литологических типов от величины эффективного напряжения, при изменении последней в пределах, типичных для глубин от <1 до 8-10 км, иллюстрируют рис. 2-3.

На рис. 2 представлены эмпирические предельные кривые, характеризующие диапазон упругих изменений коэффициентов пористости кварцевых песчаников нижнего карбона и девона с ростом эффективных напряжений, экстраполированные в область более высоких напряжений. Этот график можно использовать при приближенном прогнозе пористости кварцевых песчаников на больших глубинах.

На рис. 3 и 4 даны аналогичные кривые для полимиктовых песчаников и туфогенных пород.

Исследования деформационного поведения пород при эффективных напряжениях, больших типичных для глубин залегания, проведенные в небольшом объеме, позволили установить величины напряжений, при которых в породах начинается развитие необратимых деформаций. Эти напряжения ($\sigma_{\text{эф пр}}$), характеризующие предел упругой

устойчивости пород, важны для определения допустимых депрессий на пласт ($\Delta p_{\text{п}}$) в процессе разработки залежи, устанавливаемых по разности $\Delta p_{\text{п}} = \sigma_{\text{эф пр}} - \sigma_{\text{эф Н}}$.

В табл. 4 приведены выявленные экспериментальные величины $\Delta p_{\text{п}}$ для ряда типичных разностей песчаников девона.

Как можно видеть, допустимые депрессии относительно невелики — от 50 до 150 кгс/см², при этом меньшие значения относятся к полиминеральным разностям с высоким содержанием цементирующего вещества.

Развитие остаточных изменений в структуре песчаников в условиях равномерного всестороннего сжатия при относительно небольшом превышении уровня напряжений на глубине залегания пород связано с неравномерностью поля напряжений, обусловленной неоднородным составом и строением горных пород. Концентрация напряжений на отдельных участках вызывает микронарушения в структуре и способствует локальному развитию необратимого уплотнения.

Деформационные характеристики значительно позднее реагируют на локальные микроизменения в структуре, чем фильтрационные, как это было показано ранее в работе одного из авторов (Павлова, 1975), поэтому величины допустимых депрессий точнее могут быть установлены при изучении коэффициентов проницаемости пород.

Обращают на себя внимание результаты опытов, проведенных на глинистом алевролите визейского яруса (табл. 3, обр. 25/43; площадь Солоха) при разных величинах порового давления. Оказалось, что поровое давление оказывает существенное влияние на деформационные характеристики пород, увеличивая сжимаемость

Таблица 4

Величины предельных эффективных напряжений и допустимых депрессий для ряда песчаников девона Днепровско-Донецкой впадины

Номер образца	Класс коллектора	$\sigma_{\text{эф Н}}$, кгс/см ²	$\sigma_{\text{эф пр}}$, кгс/см ²	$\Delta p_{\text{п}}$, кгс/см ²
7428	IV	350	500	150
2628	IV	350	450	100
655	V	380	500	120
1024	V	440	490	50
657	V	380	450	70

порового пространства и изменяя коэффициент пористости. Суммируя результаты изучения деформационных свойств песчаных коллекторов девона Днепровско-Донецкой впадины, следует подчеркнуть одну отличительную особенность — широкий диапазон их изменения как в атмосферных условиях, так и в термодинамических, типичных для глубин залегания. Эта особенность обусловлена многообразием типов пород по генезису и минералого-петрографической характеристике, а также по измененности вторичными процессами, в том числе катаклазом.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ОБЪЕМНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Коэффициенты проницаемости пород изучались в большинстве случаев при объемных напряжениях, не превышающих величин эффективных, типичных для глубин залегания пород ($\sigma_{\text{эфН}}$, кгс/см²), при этом представлялось возможным в процессе разгрузки пород от напряжения оценивать влияние необратимых изменений в структуре пород на коэффициенты проницаемости. Для изучения собственного влияния температуры определенная часть опытов проводилась как при комнатной, так и при повышенной температуре. В последнем случае моделировалась температура на глубине залегания породы.

Результаты изучения коэффициентов газопроницаемости пород при нескольких уровнях эффективных напряжений (до величины $\sigma_{\text{эфН}}$) и двух значениях температуры (комнатной и на глубине залегания породы) приведены в таблицах 5, 6 и 7. Из данных табл. 5 следует, что у кварцевых песчаников нижнего карбона, представленных породами-коллекторами I-IV классов (Ханин, 1963),

снижение проницаемости ($\Delta K_{\text{пр}}/K_{\text{пр атм}} = \frac{K_{\text{пр атм}} - K_{\text{пр } \sigma_{\text{эфН}}}}{K_{\text{пр атм}}}$, %)

на глубине залегания (при $\sigma_{\text{эфН}}$) колеблется в пределах от 19 до 43%.

У характерных для девонских отложений кварцевых песчаников III-V классов относительное уменьшение проницаемости на глубине залегания больше (22-58%). Меньшие величины изменений $K_{\text{пр}}$ у пород всех типов относятся к крупнозернистым разностям с содержанием глинисто-карбонатного цемента до 10-15%. У испытанных полимиктовых разностей песчаников нижнего карбона III-V классов относительное уменьшение проницаемости на глубине залегания колеблется от 24 до 83%, а у девонских песчаников IV-V классов — от 28 до 89% (наиболее часто встречающиеся изменения проницаемости составляют 40-70%). У туфогенных песчаников и эффузивных пород изменения проницаемости колебались от 50 до 84%.

Таблица 5

Коэффициенты проницаемости кварцевых песчано-алевритовых коллекторов при эффективных напряжениях и температурах, типичных для глубин

Номер образца	Класс коллектора (по Ханину)	$K_{\text{протк}}$ (общ), %	$\sigma_{\text{эфН}}$, кгс/см ²	Условия испытаний		1
				$\sigma_{\text{эф}}$, кгс/см ²	t , °C	

Нижний карбон

19486	I	22,2	390	390	20	4400,0
				390	100	4100,0
357	II	19,8	440	1400	25	760,0
19917	II	21,0	465	465	110	735,0
15404	II	20,6	560	560	130	708,0
560	III	24,6	260	850	23	400,0
562	III	15,6	260	850	26	300,0
				850	60	255,0
14885	III	12,0	500	550	21	290,0
15360	III	16,2	495	495	21	235,0
358	III	16,5	440	440	26	210,0
15909	III	10,3	480	480	20	158,0
15908	IV	14,3	460	460	110	33,0
19911	IV	10,7	440	440	21	12,5
				440	100	11,6

Девон

17308	III	13,8	380	380	21	220,0
7428	IV	11,92	350	350	90	86,5
		(16,24)				
17907	IV	10,2	550	550	130	23,0
16587	IV	15,0	350	350	90	52,5
17905	V	5,8	550	550	130	2,6

Обращают на себя внимание цифры изменений отношения $\Delta K_{\text{пр}}/K_{\text{пратм}}$ при разгрузке пород от напряжения $\sigma_{\text{эфН}}$ (см. таблицы 5-7). Они свидетельствуют о почти полном отсутствии необратимых изменений $K_{\text{пр}}$ (до 7-8%) у кварцевых песчаников всех классов и о заметном возрастании роли необратимых изменений $K_{\text{пр}}$ (>10 и до 28%) у полимиктовых песчаников, особенно у плотных малопористых разностей V класса. Ранее эффект необра-

торов из разрезов карбона и девона Днепровско-Донецкой впадины залегания

$K_{\text{пр}} \sigma_{\text{эф}}$, мД при $\sigma_{\text{эф}}$, кгс/см ²			$\sigma_{\text{эфпр}}$, кгс/см ²	$\Delta K_{\text{пр}}/K_{\text{пратм}}$, % при $\sigma_{\text{эфН}}$, кгс/см ²	
100	200	$\sigma_{\text{эфН}}$		$\sigma_{\text{эфН}}$	1 (разгрузка)

Нижний карбон

3867,7	3480,9	2949,1	-	32,9	4,5
3683,9	3318,5	2938,4	-	33,2	6,1
668,2	640,8	520,8	600	31,5	-
597,3	527,2	430,4	-	41,4	6,1
531,2	480,0	401,0	-	43,3	2,5
362,6	319,8	299,8	400	25,0	-
259,7	245,5	240,0	400	35,3	-
200,0	160,0	145,0	400	43,0	-
263,1	255,2	234,8	-	19,0	3,4
211,6	201,1	174,8	-	25,6	6,4
173,9	165,7	136,5	-	35,0	6,8
142,2	133,4	109,9	-	33,5	14,5
25,4	23,0	20,6	-	37,6	6,0
10,3	9,8	8,6	-	31,2	6,4
9,7	9,3	8,4	-	30,4	3,4

Девон

169,8	155,7	136,2	-	38,1	4,8
76,3	71,4	67,8	500	21,6	-
20,6	19,2	16,4	-	28,7	4,2
43,5	37,9	33,3	-	36,6	4,8
1,7	1,4	1,1	-	58,0	15,0

тимых изменений коэффициентов проницаемости пород при эффективных напряжениях и температурах, равных типичным для глубин залегания, отмечался в работах Н.С. Гудок (1970) и А.Н. Ставрогина (1974).

Графики (рис. 5-7), на которых представлены экстраполированные кривые упругих изменений коэффициентов проницаемости ($\Delta K_{\text{пр}}/K_{\text{пратм}}$) пород различных литологических типов и классов

Таблица 6

Коэффициенты проницаемости полимиктовых песчано-алевритовых коллекторов нижнего карбона и девона Днепровско-Донецкой впадины при эффективных напряжениях и температурах, типичных для глубин залегания

Номер образца	Класс пород (по Ханину)	$K_{п\text{отк}}$ (общ), %	$\sigma_{эфH}$, кгс/см ²	Условия испытаний		$K_{пр\sigma_{эф}}$, мД при $\sigma_{эф}$, кгс/см ²				$\sigma_{эфпр}$, кгс/см ²	$K_{пр}/K_{пр\text{атм}}$ при $\sigma_{эфH}$, кгс/см ²	
				$\sigma_{эф}$, кгс/см ²	t , °C	1	100	200	$\sigma_{эфH}$		$\sigma_{эфH}$	1 (разгрузка)
<i>Нижний карбон</i>												
300	III	(21,73)	180	400	23	200,0	160,2	-	152,4	300	23,8	14,6
370	IV	(15,0)	440	1350	21	90,0	56,3	53,1	50,1	500	44,4	21,3
				440	100	55,4	32,6	27,1	18,3	-	79,7	-
1024	V	(9,6)	440	800	21	0,37	0,23	0,16	0,12	490	67,6	-
				800	100	0,31	0,15	0,10	0,08	440	74,2	-
371	V	(3,9)	440	600	21	0,23	0,16	0,11	0,06	500	74,0	-
372	V	(8,5)	440	800	23	0,12	0,07	0,03	0,02	Не устан.	83,3	-
<i>Девон</i>												
7480	IV	(3,08)	350	350	21	48,0	29,4	24,4	19,1	-	60,2	18,7
				350	95	25,5	19,6	18,1	14,1	-	64,6	13,7
7637	IV	7,96	200	200	21	42,4	30,9	27,7	27,7	-	34,6	5,66
		(8,99)		200	59	15,2	11,0	10,3	10,3	-	75,7	13,8
2629	IV	(11,52)	370	370	25	30,2	26,6	25,0	21,8	-	27,8	11,3
				370	100	24,4	21,1	12,7	17,6	-	37,1	7,8
7398	IV	6,10	285	285	21	17,8	12,7	10,6	9,1	-	48,9	15,7
		(8,24)		285	80	9,2	7,1	6,3	5,4	-	69,7	13,0
7556	IV	7,7(7,9)	220	220	21	17,5	8,52	6,65	6,35	-	63,7	14,3
4353	IV	4,53	415	415	23	15,6	13,0	11,5	9,3	-	40,4	3,2
		(5,48)		415	110	12,1	9,6	8,2	6,3	-	55,8	4,1
5290	IV	10,17	325	325	23	12,6	9,8	8,6	7,3	-	42,1	12,7
		(11,79)		325	100	11,9	9,1	7,8	6,2	-	50,8	27,7

7429	IV	(7,86)	340	340	20	12,5	7,9	7,1	5,7	-	54,4	11,2
				340	92	11,0	6,5	5,6	4,7	-	58,4	11,8
2628	IV	(11,52)	350	350	25	10,2	8,3	7,6	7,0	450	31,4	4,9
2626	V	(13,8)	340	340	21	10,8	3,3	2,6	1,8	-	83,3	12,0
				340	92	9,2	2,3	1,7	1,2	-	88,9	9,8
6440	V	(7,84)	330	330	23	8,2	6,0	5,1	4,0	-	51,2	14,6
				330	89	7,1	5,2	4,4	3,3	-	59,7	11,3
6743	V	7,1 (7,8)	420	420	23	7,9	5,6	4,9	3,9	-	50,6	24,1
				420	110	4,3	3,5	3,0	2,5	-	68,4	9,3
2632	V	(1,8)	380	380	21	6,5	4,8	4,1	3,1	-	52,3	13,4
6459	V	1,78 (2,27)	410	410	21	6,9	5,1	4,9	4,7	-	31,9	20,3
				410	107	5,2	4,2	3,9	3,4	-	50,7	9,6
6246	V	(6,62)	180	180	21	6,8	3,15	-	2,3	-	66,2	14,7
				180	56	5,3	2,65	-	2,1	-	69,1	5,7
4903	V	(7,18)	310	310	23	6,5	4,9	4,1	3,4	-	47,7	3,1
7497	V	6,19 (9,23)	400	400	21	6,1	3,2	2,5	1,7	-	72,1	18,0
				400	100	4,8	2,8	2,1	1,6	-	73,8	27,1
6458	V	(3,19)	410	410	22	6,0	3,6	3,0	2,4	-	60,0	16,6
				410	107	5,0	2,6	2,1	1,5	-	75,0	20,0
6684	V	(5,7)	380	380	27	5,2	3,3	2,8	2,2	-	57,7	20,0
				380	101	4,9	2,8	2,4	2,0	-	61,5	10,6
2631	V	(13,4)	365	365	25	5,2	4,9	3,1	2,6	-	50,0	15,4
7487	V	6,51 (9,03)	380	380	21	4,2	2,6	2,1	1,7	-	59,5	11,9
				380	101	3,7	2,2	1,9	1,5	-	64,3	8,1
2619	V	1,98(3,8)	320	320	23	3,2	1,7	1,2	0,9	-	71,9	12,5
656	V	(7,8)	380	440	23	0,02	0,01	0,005	0,003	440	85,0	-
5311	V	(1,66)	380	380	21	1,0	0,7	0,6	0,5	-	50,0	-
				380	100	0,9	0,7	0,6	0,5	-	45,0	-
654	V	(12,5)	380	800	23	0,05	0,033	0,015	0,008	Не устан.	84,0	-
7324	V	2,02(2,26)	370	415	20	3,2	1,8	1,5	1,2	-	62,5	9,4
7367	V	(4,53)	340	340	21	3,7	1,8	1,4	1,2	-	67,6	-
7519	V	3,89(4,12)	450	450	21	2,8	1,5	1,3	0,9	-	60,9	8,7
7500	V	(4,63)	430	430	21	1,4	0,8	0,5	0,8	-	76,6	17,8

Таблица 7

Коэффициенты проницаемости туфогенных и эффузивных пород из раз-
тивных напряжениях и температурах, типичных для глубин залегания

Номер образца	Класс пород (по Ха- нину)	$K_{п\text{отк}}$ (общ), %	$\sigma_{эфН}$, кгс/см ²	Условия испы- таний		$K_{пр\sigma_{эф},t}$ мД при $\sigma_{эф}$, кгс/см ²
				$\sigma_{эф}$, кгс/см ²	t , °С	
<i>Туфогенные породы</i>						
6471	IV	10,4	250	250	23	22,6
				250	71	16,8
6169	V	4,68 (7,44)	380	380	24	4,9
				380	101	4,1
7372	V	2,71	340	340	21	4,3
7607	V	11,29 (11,58)	340	340	21	2,3
				340	92	2,1
<i>Эффузивные породы</i>						
16420	III	10,5	440	440	21	120,5
6628	V	8,8(9,67)	310	310	24	5,0
7604	V	12,29	325	325	21	2,9
				325	89	2,7
657	V	14,0	380	800	24	0,0022
655	V	10,2	380	800	85	0,0019

с ростом эффективных напряжений и температур, позволяют произ-
водить прогноз фильтрационных свойств пород вплоть до глубин 8-
10 км. Можно видеть, что на глубине 8-10 км относительное
упругое уменьшение проницаемости кварцевых песчаников до-
стигает 30-75%, а полимиктовых и туфогенных - от 50 до
90%.

Ввиду особенностей эксплуатации глубокозалегающих залежей
нефти и газа, в частности больших депрессий, возникающих при раз-
работке без поддержания давления, представляет интерес изучение
закономерностей изменения коэффициентов проницаемости пород при
величинах эффективных напряжений, значительно превышающих $\sigma_{эфН}$.
Такие исследования были проведены на 12 образцах коллек-
торов девона, их результаты представлены в таблицах 5-7 и на
рис. 8.

резов девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины при эффек-

$K_{пр\sigma_{эф},t}$, мД при $\sigma_{эф}$, кгс/см ²			$\sigma_{эфпр}$, кгс/см ²	$\Delta K_{пр}/K_{пр\text{атм}}$, % при $\sigma_{эфН}$, кгс/см ²	
100	200	$\sigma_{эфН}$		$\sigma_{эфН}$	1 (раз- грузка)
<i>Туфогенные породы</i>					
13,5	11,2	9,9	-	56,2	14,2
9,6	8,2	7,7	-	65,9	10,7
3,3	2,9	2,2	-	55,1	12,3
2,5	1,9	1,3	-	73,5	11,4
1,7	1,2	0,9	-	79,1	37,2
1,5	1,1	0,8	-	66,1	1,4
1,3	1,0	0,7	-	69,6	3,0
<i>Эффузивные породы</i>					
101,3	79,2	60,0	-	50,2	3,7
3,4	2,5	1,5	-	70,0	5,0
1,9	1,5	1,1	-	62,0	4,7
1,9	1,5	1,1	-	62,1	4,4
0,00115	0,0006	0,0004	450	81,8	-
0,0008	0,0005	0,0004	500	84,0	-

Как известно, коэффициенты проницаемости пород являются струк-
турно-чувствительными характеристиками коллекторских свойств пор-
род, поэтому они подвержены наиболее резким изменениям, в
том числе и необратимым, в условиях высоких давлений и тем-
ператур.

Исследования при $\sigma_{эф} > \sigma_{эфН}$ позволили выявить те максималь-
ные величины перегрузки, т.е. превышения начальных эффективных
напряжений, которые могут выдерживать породы-коллекторы девона
разных литологических типов без заметного развития процесса не-
обратимого уплотнения.

Из данных таблиц 5-7 и рис. 8 следует, что кварцевые пес-
чаники II-V классов при росте $\sigma_{эфН}$ на 140-160 кгс/см² (или
соответствующем снижении пластовых давлений в процессе разра-

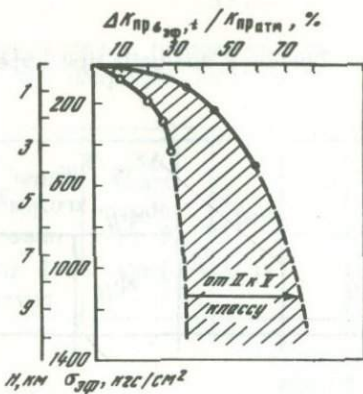


Рис. 5

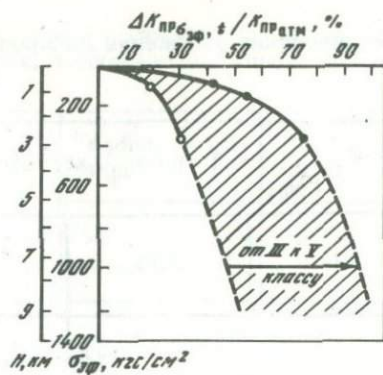


Рис. 6

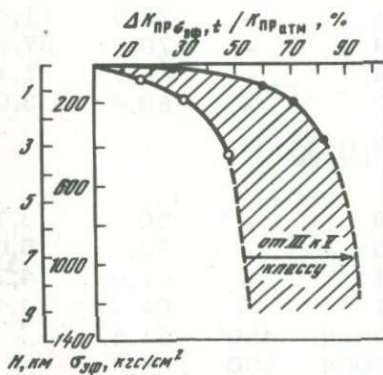


Рис. 7

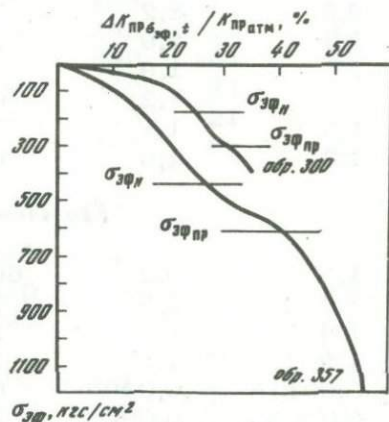


Рис. 8

Рис. 5. Кривые упругих изменений коэффициентов проницаемости кварцевых песчаников при эффективных напряжениях и температурах

Рис. 6. Кривые упругих изменений коэффициентов проницаемости полимиктовых песчаников при эффективных напряжениях и температурах

Рис. 7. Кривые упругих изменений коэффициентов проницаемости туфогенных песчаников при эффективных напряжениях и температурах

Рис. 8. Неупругие изменения коэффициентов проницаемости песчано-алевритовых пород при эффективных напряжениях, больших типичных для глубин залегания

Песчаник кварцевый (обр. 300, III класс); песчаник полимиктовый (обр. 357, II класс)

ботки) еще сохраняют свои упругие свойства, у полимиктовых же разностей при превышении $\sigma_{эфH}$ на 60–100 кгс/см² в структуре возникают необратимые нарушения, которые в процессе разработки должны вызывать резкие и необратимые изменения дебитов скважин. У некоторых разностей полимиктовых пород пределы упругой устойчивости четко не выделялись на графиках, а о необратимых деформациях представлялось возможным судить лишь по большим изменениям $K_{пр}$ ($\Delta K_{пр}/K_{пратм} = 70 - 90\%$).

В целом результаты этих экспериментальных исследований позволяют оценивать величины допустимых депрессий в процессе разработки глубокозалегающих месторождений нефти и газа.

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Развитие трещиноватости, в том числе открытых трещин, в породах девонских отложений свидетельствует о существенном влиянии современных тектонических движений, нарушающих равномерность поля напряжений на отдельных участках Днепровско-Донецкой впадины.

С развитием трещин связано изменение деформированного состояния пород, что находит отражение и в их коллекторских возможностях.

О характере деформаций пород в условиях неравномерного объемного сжатия, типичного для тектонически активных участков земной коры, и вызываемых ими необратимых преобразованиях структуры пустотного пространства пород можно судить по результатам изучения изменений объема в процессе продольного сжатия образцов пород, находящихся под действием эффективных напряжений, типичных для разных глубин залегания.

Исследования пород при неравномерном объемном сжатии проводились ранее с целью изучения механических свойств горных пород, при сложных объемных напряженных состояниях, а результаты их в последние годы обобщены в монографиях и справочниках (Справочник..., 1969; Байдюк, 1963; Шрейнер, Байдюк, Павлова, 1968; Ставрогин, 1974; Павлова, 1970, 1975; Вола-рович, 1974).

В отличие от ранее опубликованных работ, основные вопросы, освещенные в настоящей монографии, были связаны, во-первых, с выявлением возможности существенного улучшения коллекторских свойств пород в условиях неравномерного объемного напряженного состояния при уровне эффективных напряжений, характерном для глубин их залегания, а во-вторых, с изучением процесса развития трещин, вплоть до разрушения (ориентировки трещин по отношению к максимальному сжимающему напряжению, распределения их в объеме пород на разных стадиях нагружения и участия в развитии трещин скола, приводящих к нарушению сплошности породы).

В связи с поставленными задачами был разработан определенный методический подход как к выбору объектов исследования, так и к методике его проведения, позволяющий исследовать горные породы в условиях их залегания.

Изучение деформационного поведения пород и сопротивления их разрушению в условиях неравномерного объемного сжатия проводилось на описанной в главе V установке УИМК, позволяющей при определенном уровне внешнего равномерного сжимающего напряжения σ_{0H} прикладывать к образцу избыточную нагрузку P , достаточную для развития в образце остаточных деформаций и процесса разрушения. В этих опытах, так же как и при испытании пород в условиях равномерного всестороннего сжатия, измерялись продольная (ϵ_1 , %) и радиальная ($\epsilon_2 = \epsilon_3$, %) деформации (соответствующие разным уровням продольной нагрузки), по значениям которых рассчитывались изменения объема образца $\epsilon_{V\sigma_i} = 2\epsilon_2 - \epsilon_1$ (в случае уменьшения диаметра в процессе опыта ϵ_2 вводится в формулу со знаком минус).

Расчет продольного напряжения (σ_i , кгс/см²) на каждой ступени нагружения производился с учетом изменения диаметра образца в процессе опыта:

$$\sigma_i = \frac{P}{F(1 + \epsilon_2)^2},$$

где F — площадь сечения деформируемого образца.

Главные нормальные напряжения в этом случае определяются как

$$\sigma_1 = \sigma_i + \sigma_{0H} - p_{\Pi} \quad (\text{кгс/см}^2),$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{0H} - p_{\Pi} \quad (\text{кгс/см}^2),$$

где p_{Π} — поровое давление насыщающего породу флюида.

В ряде опытов было проверено влияние величины порового давления на деформационные свойства пород при неравномерном объемном напряженном состоянии.

Первичная обработка результатов испытаний по схеме неравномерного объемного сжатия позволяет получать зависимости между деформациями и интенсивностью напряжений для различных значений начального всестороннего сжатия σ_{0H} или эффективного напряжения $\sigma_{\text{эф}} = \sigma_{0H} - p_{\Pi}$:

С помощью графиков этих зависимостей представляется возможным устанавливать характерные точки перехода от упругой деформации к остаточной, а по исчерпанию последней — к разрушению, т.е. определять пределы текучести (σ_{is} , кгс/см²) и прочности (σ_{ic} , кгс/см²) пород. Наибольший интерес в этих исследованиях вызывает анализ величин изменения объема ($\epsilon_{V\sigma_i}$) при определенном уровне напряжений σ_{0H} ($\sigma_{\text{эф}}$), обусловленного развитием в структуре пород микротрещиноватости.

Выявленный ранее эффект прироста объема пород при неравномерном объемном сжатии в условиях давлений, типичных для верхних частей земной коры, изучался в настоящей работе на образцах песчаников девона и для сопоставления галогенных и глинистых пород из покрывающих горизонтов при эффективных напряжениях, типичных для глубин их залегания.

При этом, кроме суммарных экспериментальных оценок изменений объема, использовались методы количественного изучения структурных преобразований пород в процессе неравномерной деформации, в частности с применением электронно-вычислительного устройства "Квантимер".

Основным результатом испытаний пород в условиях неравномерного трехосного сжатия является оценка возможного вклада прироста объема пустотного пространства ϵ_V при неравномерной деформации, подобной тектонической, в показатели емкости пород (коэффициенты их пористости: $K_{\Pi \sigma_{эф}, \sigma_i} = K_{\Pi \sigma_{эф}} + \epsilon_V$).

Кроме установки УИМК, деформационные и прочностные свойства пород изучались в небольшом объеме методом вдавливания (ГОСТ, 1966) на приборе УМПП-3. Испытания на вдавливание позволили провести сравнительную оценку величин пределов упругой устойчивости (пределов текучести при вдавливании p_0) различных пород, т.е. тех напряжений, при достижении которых в них начинается развитие необратимых деформаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПОРОД В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО ОБЪЕМНОГО СЖАТИЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ И ИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Изучение влияния неравномерного напряженного состояния на деформационное поведение пород преследует цель выявления механизма развития трещин в породах, улучшающих сообщаемость пор и обеспечивающих фильтрационные возможности плотных пород на больших глубинах залегания. В породах девонских отложений развита трещиноватость разной интенсивности, что свидетельствует о неравномерном поле напряжений, обусловленном, по-видимому, различиями в интенсивности тектонических движений (перемещений блоков фундамента) на отдельных участках впадины.

В экспериментальных условиях быстрые перемещения блоков фундамента и создаваемые ими поля напряжений и деформаций в осадочной толще грубо можно воспроизвести, проводя изучение деформаций пород в условиях равномерного объемного сжатия и продольной избыточной нагрузки (стресса).

Улучшение коллекторских свойств пород в результате развития в них трещиноватости может сопровождаться значительным ухуд-

шением изолирующих возможностей пород покрывающих горизонтов. В связи с этим наряду с изучением влияния неравномерного объемного сжатия на деформационные свойства коллекторов представляет интерес исследование деформационного поведения глинистых и галогенных пород-покрышек при неравномерном напряженном состоянии.

Исследования коллекторов были проведены на плотных не трещиноватых разностях кварцевых, полимиктовых и туфогенных песчаников, покрышек - на глинистых породах визейских отложений и галогенных породах из разрезов девона Днепровско-Донецкой впадины.

Результаты этих исследований представлены в таблицах 8 и 10. Основной выявленной в этих испытаниях особенностью деформационного поведения песчаников девона (табл. 8) является прирост их объема в процессе остаточной деформации, предшествующей разрушению, связанный с развитием ориентированной микротрещиноватости.

Прирост объема, как было установлено при изучении шлифов деформированных пород, связан с разуплотнением структуры в результате переориентировки зерен, разрыва связей по их контактам, а иногда и разрушением зерен. Его величина $\epsilon_{V\sigma_i}$ в результате неравномерной, подобной тектонической, объемной деформации коллекторов разных типов составляет, как можно видеть, 0,4-4,4%.

Для сопоставления пород между собой по способности к разуплотнению в табл. 8 включен коэффициент интенсивности разуплотнения $K_{V_{ic}}$, оценивающий величину разуплотнения на единицу остаточной продольной деформации $K_{V_{ic}} = \frac{\epsilon_{V\sigma_i}}{\epsilon_{1n}}$, предложенный ранее одним из авторов работы (Павлова, 1975). По величине этого коэффициента можно судить о том, что наибольшее развитие разуплотнения характерно для плотных коллекторов IV-V классов.

О механизме трещинообразования в песчаниках нижнего карбона и девона в условиях объемных напряженных состояний представляется возможным судить по данным обсчета структурно-текстурных параметров пород до и после деформации.

Обсчет на устройстве "Квантимет" специально обработанных фотоснимков шлифов и непосредственно шлифов для установления характера изменений площади пор A_{II} и зерен породообразующих минералов A_M , среднего размера хорд пор H_{II} и зерен минералов H_M в процессе деформации при равномерном и неравномерном объемном сжатии был проведен для четырех образцов песчаников.

В табл. 9 приведены результаты обсчета шлифов кварцевых песчаников нижнего карбона (образцы 357 и 358) до и после деформации при равномерном всестороннем сжатии в условиях $\sigma_{эф} > \sigma_{эфH}$, т.е. при развитии в породах необратимого уплотнения.

Таблица 8

Деформационные и прочностные свойства песчаных коллекторов нижнего

Номер образца	Класс коллектора	$K_{п\text{отк}}$ (общ.), %	$\sigma_{эфII}'$ кгс/см ²	Условия испытания		
				σ_{0H}' кгс/см ²	p_{II}' кгс/см ²	$t, ^\circ\text{C}$

Песчаники кварцевые

19917	II	18,0	500	500	1	21
357	II	19,8	380	840	400	115
15908	III	14,3	460	460	1	110
16587	IV	15,1	350	350	1	90
15421	V	10,7	570	570	1	21
17905	V	5,8	550	550	1	130

Песчаники полимиктовые

2628	IV	11,5	350	350	1	21
				700	1	21
2629	IV	11,5	360	360	1	21
655	V	10,25	380	1150	250	21
657	V	14,10	380	1150	250	21
1024	V	9,6	450	1350	350	21
17313	V	7,8	350	400	1	21
2631	V	13,4	365	365	1	21
6459	V	3,2	400	410	2	21
13503	V	11,1	235	235	1	21
3903	V	(5,4)	440	440	Сухой	90
3959	V	(9,7)	560	560	"	140
3680	V	13,9	325	325	"	90
3686	V	(10,8)	365	365	"	100

Туфогенные, эффузивные породы

16418	IV	10,0	390	400	1	21
3687	V	(10,8)	365	365	Сухой	100
7604	V	12,2	325	326	1	90

Как можно видеть, в этом случае отмечается существенное уменьшение площади и размера пор при почти неизменной величине размера зерен, что свидетельствует о преимущественном развитии межзернового скольжения.

Результаты обсчета изменений в пустотном пространстве кварцевых песчаников девона (образцы 2631 и 15421) при неравномерном

карбона и девона при неравномерном объемном сжатии

$\epsilon, \%$		$\sigma_i, \text{кгс/см}^2$		$+ \epsilon_{V\sigma_i}, \%$	$K_{V_{ic}}$	$K_{II\sigma_i}, \%$
ϵ_1	$\epsilon_{2=3}$	σ_{ic}	σ_{is}			

Песчаники кварцевые

2,7	-	1610	1200	-	-	-
0,92	0,67	1550	1000	0,4	0,2	19,8
1,30	1,14	2250	720	1,0	0,9	15,0
4,3	2,20	880	650	0,1		14,8
1,39	1,63	4140	3000	1,9	2,4	12,0
1,32	1,95	3200	2520	2,6	3,6	8,0

Песчаники полимиктовые

1,31	1,48	2030	1700	1,65	2,3	12,6
3,26	2,57	2820	2600	1,9	0,3	11,8
2,15	1,69	1700	1200	1,25	0,7	12,4
8,39	5,29	2600	1900	2,2	0,3	11,0
8,23	5,15	25600	1800	2,1	0,4	14,2
4,13	3,05	2760	2100	2,0	0,5	10,5
1,4	2,8	1610	1300	2,2	3,1	9,0
2,0	2,3	1610	1200	2,6	1,8	14,8
15,3	9,4	690	370	3,6	0,3	6,2
8,15	6,3	675	390	4,4	0,6	15,5
1,45	1,9	2800	2400	2,4	3,6	7,5
1,85	1,9	2700	2000	2,0	2,1	11,0
3,7	4,3	1210	890	4,9	1,8	18,1
1,3	2,5	2810	2000	3,7	4,1	14,2

Туфогенные, эффузивные породы

2,0	2,1	2310	1530	2,15	1,3	12,1
3,5	3,0	1050	800	2,5	0,95	12,6
2,0	1,9	1350	900	1,8	1,2	13,5

объемном сжатии (табл. 9) также подтверждают межзерновой характер деформации. В обоих случаях при обсчете отмечено увеличение площадей и среднего размера пор. Различие в изменении параметров A_{II} и H_{II} при сканировании перпендикулярно и параллельно напластованию указывает на ориентированность деформационных трещин по отношению к деформирующему напряжению.

Таблица 9

Обсчет структурно-текстурных параметров песчаников до и после деформации при объемных напряженных состояниях

Номер образца	Условия испытаний			$\pm \epsilon_V, \%$	A, %		H, мкм	
	$\sigma_{\text{ЭФ}},$ кгс/см ²	$\sigma_i,$ кгс/см ²	t, °C		A _П	A _М	H _П	H _М
<i>Равномерное всестороннее сжатие</i>								
357	Исходный образец	2С		-3,0	19,3		42,5	182,2
	1200				15,8		29,8	176,6
358	Исходный образец				18,7		62,5	261,2
	500			-1,0	17,3		51,9	246,1
<i>Неравномерное всестороннее сжатие</i>								
Данные для пустотного пространства					A _П , %		H _П , мкм	
					Сканирование		Сканирование	
					I		II	
2631	Исходный образец			K _П =13,4%	10,4	10,5	22,5	22,7
	365 1616	21		+2,6	16,4	16,5	25,3	27,0
15421	Исходный образец			K _П =10,7%	12,95	13,35	26,5	25,6
	570 4140	20		+1,9	15,9	15,9	35,6	31,7

Необходимо обратить внимание на величину коэффициента пористости деформированных пород ($K_{\text{П}\sigma_i}$), она вычисляется как

$K_{\text{П}\text{атм}} + \epsilon_V \sigma_i - \epsilon_V \sigma_{\text{ЭФ}}$ (где $-\epsilon_V \sigma_{\text{ЭФ}}$ и $+\epsilon_V \sigma_i$ - соответственно пористость пород при равномерном объемном сжатии и изменение объема при неравномерном объемном сжатии под действием напряжения, подобного тектоническому).

Как можно видеть, эффект разуплотнения в большинстве случаев не только снимает упругое снижение пористости под действием $\sigma_{\text{ЭФ}}$, но даже увеличивает исходную пустотность пород. Подобное влияние на формирование вторичной пустотности в плотных эпигенетически преобразованных породах девона (объясняющее широкий диапазон их коллекторских свойств) в природных условиях могут оказывать неотектонические деформации и напряжения.

Ранее (Ставрогин, 1974; Павлова, 1975) выявлено, что с ростом величины эффективных напряжений значения прироста объема ($\epsilon_V \sigma_i$) вначале растут, а затем уменьшаются, в то время как интенсивность разуплотнения ($K_{V_{ic}}$) постепенно снижается при увеличении σ_{0H} . Материалы данной монографии подтверждают эти выводы.

Таблица 10

Деформационные и прочностные свойства глинистых и галогенных пород-покрышек при неравномерном трехосном сжатии

Тип по-крышки	Номер образца	Порода*	$K_{пр}$ %	$\sigma_{эфH}'$ кгс/см ²	Условия опыта	
					$\sigma_{эф}'$ кгс/см ²	$t, ^\circ\text{C}$
<i>Глинистые породы</i>						
II	2а343	Аргиллит	1,2	520	520	135
III	1/43	"	4,4	470	470	20
		"			Сухой	
					470	20
III	6/43	"	6,29	425	425	110
III	26/43	Алевролит	2,73	570	570 ($p_{II}=480$)	145
			2,73	570	570 ($p_{II}=700$)	145
<i>Галогенные породы</i>						
	245	Каменная соль		250	1	20
					1000	100
	967	То же		340	250	20
					500	20

*Площади отбора см. в табл. 11.

Таблица 10 (окончание)

Тип по-крышки	Деформационные и прочностные свойства					
	σ_{ic}' кгс/см ²	σ_{is}' кгс/см ²	ϵ_1 %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$ %	$+\epsilon_{V\sigma_1}$ %	$K_{V_{ic}}$
<i>Глинистые породы</i>						
II	370	220	1,8	1,6	1,4	0,9
III	1300	760	1,7	1,4	1,1	0,9
III	845	505	1,7	1,9	2,2	2,2
III	1230	250	5,4	5,4	5,4	1,1
	2815	700	2,0	1,2	0,4	0,5
	1100	370	8,9	10,3	11,8	1,5
<i>Галогенные породы</i>						
	285	140	8,6	7,9	6,4	1,1
	414	320	11,0	8,5	6,5	0,6
	440	180	6,5	11,4	15,9	2,4
	980	250	13,4	10,9	6,6	0,5

В табл. 8 этот эффект наблюдается как при испытании одной и той же породы в условиях разных σ_{0H} (обр. 2628), так и при сопоставлении значений KV_{ic} у пород одного и того же литологического типа (например, полимиктовых песчаников), испытанных в диапазоне эффективных напряжений.

Результаты испытаний глинистых и галогенных пород-покрышек из разрезов Днепровско-Донецкой впадины представлены в табл. 10. Следует отметить, что породы-покрышки визейского яруса представлены аргиллитами и глинистыми алевролитами, относящимися к породам средней (II) и низкой (III) изолирующей способности.

Анализируя данные табл. 10, можно заметить ряд особенностей деформационного поведения пород-покрышек.

Во-первых, испытанные глинистые породы-покрышки в условиях неравномерного объемного сжатия, так же как и песчаные коллекторы, деформируются с приростом объема.

Развитие трещин в породах-покрышках должно ухудшать их изолирующие свойства, а следовательно, и условия сохранности экранируемых ими крупных залежей углеводородов, особенно газа.

Следует обратить внимание на то, что и галогенные породы соленосных комплексов деформировались при неравномерном объемном сжатии достаточно с увеличением объема, вследствие развития разрывных микронарушений, главным образом по границам зерен, осложненным включениями алевроитовых примесей.

Во-вторых, у пород покрывающих горизонтов в большинстве случаев отмечалась меньшая интенсивность разуплотнения (т.е. меньшая величина прироста объема на единицу остаточной деформации - коэффициент KV_{ic}). Кроме того, изучение шлифов деформированных пород-покрышек показывает, что развивающаяся в процессе остаточной деформации трещиноватость, как правило, не создает сообщающихся путей для фильтрации жидкости, как в случае деформации коллекторов.

Выявленные особенности деформации позволяют предположить, что в зонах высокой тектонической активности породы-покрышки, подобные испытанным, могут сохранять изолирующие свойства, особенно при большой мощности покрывающей толщи.

Как показывают эксперименты с разными поровыми давлениями p_{II} (табл. 10), при повышенных значениях p_{II} абсолютные величины прироста объема возрастают, т.е. процесс трещинообразования интенсифицируется.

Заслуживает большого внимания сопоставление величин пределов упругости или текучести пород разных литологических типов (p_0) в разрезах Днепровско-Донецкой впадины при неравномерном объемном сжатии пород в процессе их испытания методом вдавливания (табл. 11).

Таблица 11

Деформационные и прочностные свойства при вдавливании пород-коллекторов девона, глинистых пород-покрышек визейского яруса и пород кристаллического фундамента

Класс коллектора (покрышки)	Номер образца	Порода	Площадь, скважина, глубина, м	Возраст	Механические свойства при вдавливании			
					$p_{ш}'$ кгс/мм ²	p_{0}' кгс/мм ²	K	$E \cdot 10^{-5}$, кгс/см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Песчаные породы-коллекторы девона</i>								
V	6289	Песчаник кварцевый	Максаковская, 4, 2988-2991	$D_3^2 1_{el-lb}$		38,0		0,41
V	7437	Песчаник полимиктовый	Грибоворуднянская, 2, 2769-2690	$D_2^2 2_{pr-nr}$		25,0		0,59
V	6454	То же	Мринская, 210, 2800-2807	$D_3^2 1_{zd-el}$		159,0		1,89
V	5305	Алевролит глинистый	Видельцевская, 3, 2789-2796	$D_3^2 1_{zd}$	61,0	21,0	4,6	0,74
V	7557	Песчаник полимиктовый	Видельцевская, 4, 1743-1752	$D_3^2 1_{el}$		21,0		0,25
V	7533	То же	Видельцевская, 4, 3808-3816	$D_3^1 2_{ev-lv}$	96,0	55,0	2,7	0,82
	6432	Песчаник гуфогенный	Малодевичская, 307, 4502-4507	$D_3^1 2_{ev-lv}$		50,0		0,59

Таблица 11 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Галогенные породы соленосных комплексов девона</i>								
937	Каменная соль		Ромны, 9, 510-520	D	-	9,0	∞	0,28
943	То же		Ромны, 9, 647-655	D	-	10,0	∞	0,23
943а	"		Ромны, 9, 647-655	D	-	7,5	∞	0,155
959	"		Полтава, 1, 2440-2451	D	-	12,0	∞	0,55
965	"		С. Калайдинцы, 6, 3667-3673	D	-	13,0	∞	0,16
974	"		Н. Сантары, 5, 1818-1824	D	-	11,0	∞	0,22
8	"		Мозырская, 1, 794-798	D	-	12,0	∞	0,41
806	"		Медведовская, 4, 3180-3183		-	12,0	∞	0,21
837	"		Зап. Медведовская, 2, 2462-2470		-	13,0	∞	0,21
1330	"		Смоляжская, 1, 1765-1771	D	-	13,0	∞	0,30
2919	"		Олишевская, 239, 3300-3308	D	-	13,0	∞	0,28
2920	"		Холмская, 238, 2415-2423	D	-	12,0	∞	0,32
2937	"		Гмырянка, 1, 2384-2389	D	-	14,0	∞	0,30
2964	"		Холмы, 238, 3498-3505	D	-	16,0	∞	0,33

Таблица 11 (продолжение)

6
158

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	3036	Каменная соль	Холмы, 238, 4333-4336	D	-	11,0	∞	0,56
	3038	"	Холмы, 238, 2678-2683	D	-	11,0	∞	0,30
	3058	"	Гмырянка, 1, 3763-3765		-	8,0	∞	0,19
	847	"	Зап. Медведовская, 2, 2837-2844		-	8,0	∞	0,38
	1368	"	Смоляжская, 1 1765-1771		-	14,0	∞	0,22
<i>Глинистые породы - покрывки визея</i>								
II	2а/43	Аргиллит кремнисто- хлорито-гидрослюди- стый	Солоха, 43, 4022- 4034	C ₁ v	35,0	28,0	2,0	0,02
II	3/43	Аргиллит алеврити- стый	Солоха, 43, 3731- 3742	C ₁ v	23,0	17,0	2,2	0,59
II	36/43	Аргиллит	Солоха, 43, 3974- 3986	C ₁ v	29,0	20,0	1,8	0,4
II	46/43	Аргиллит алеврити- стый	Солоха, 43, 4627- 4633	C ₁ v	25,0	21,0	2,0	0,37
III	26/43	То же	Солоха, 43, 4372- 4382	C ₁ v	70,0	55,0	1,7	0,99
III	1/43	Алевролит глинистый	Солоха, 43, 3609- 3611	C ₁ v	94,0	59,0	2,0	1,14

85

Таблица 11 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
III	1а/43	Аргиллит алевроити- стый	Солоха, 443, 3634- 3644	C ₁ v	36,0	29,0	1,6	0,66
III	16/43	То же	Солоха, 43, 3924- 3933	C ₁ v	50,0	40,0	1,3	0,76
III	2/43	Алевролит глини- стый слюдистый	Солоха, 43, 3245- 3258	C ₁ v	38,0	31,0	1,5	0,73
III	4/43	Аргиллит алевроити- стый	Солоха, 43, 3780- 3793	C ₁ v	24,0	18,0	1,57	0,33
III	4а/43	Алевролит слюдистый	Солоха, 43, 3900- 3912	C ₁ v	58,0	45,0	1,5	0,85
III	5/43	Аргиллит алевроити- стый	Солоха, 43, 4022- 4034	C ₁ v	42,0	33,0	1,6	0,83
III	6/43	Алевролит кварцевый глинистый	Солоха, 43, 3528- 3570	C ₁ v	43,0	32,0	1,4	0,79
<i>Породы кристаллического фундамента</i>								
	147/Ф	Метасоматит	Грибоворуднянская, 655, 1482-1483	Ar-pt		148,0		
	151/Ф	Мигматит гранато- биотитовый	Грибоворуднянская, 2, 2509-2512	То же	218,0	163,0	1,5	
	153/Ф	Метасоматит	Максаковская, 5, 2357-2359	"	95,0	62,0	2,0	
	158/Ф	Гнейс кордиерито- гранат-биотитовый	Максаковская, 5, 2357-2359	"	257,0	123,0	2,5	
	190/Ф	Диорит кварцевый	Брусиловская, 1, 2435-2437	"	-	157,0		

Таблица 11 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
204/Ф	Гнейс биотитовый измененный	Петривцевская, 7, 3041-3042	Ar-ft	222,0	115,0	2,4		
791/Ф	Гранит	Сумский угольный профиль, 11009, 931,7-932,7	"	307,0	147,0	1,9		
796/Ф	Плагиогранит контактовый	Сумский угольный профиль, 11011, 1083-1183	"	353,0	124,0	2,1		
907/Ф	Гнейс гранат-биотитовый	Новотроицкая, 5, 3094-3096	"	244,0	130,0	1,95	-	
917/Ф	Гнейс амфибол-биотитовый	Белоцерковская, 1, 1901-1907	"	198,0	128,0	2,0	-	
919/Ф	Гнейс амфиболовый карбонатизированный	Белоцерковская, 4, 2296-2299	"	92,0	29,0	4,0	-	
3135/Ф	Гнейс гранат-биотитовый	Пакульская, 227, 3167,17-3168	"	158,0	105,0	1,8	-	
3135/Ф	Мигматит	Довжиковская, 1, 3625-3628	"	91,0	44,0	2,85	-	

Принятые в табл. 11 условные обозначения: $p_{ш}$ - твердость; p_0 - предел текучести; K - коэффициент пластичности; E - модуль упругости по штампу (ГОСТ, 1966).

Анализ этих данных позволяет оценить относительную компетентность продуктивной и покрывающей толщ по сравнению с кристаллическим основанием. Как можно видеть, значения p_0 у пород фундамента значительно выше, чем значения p_0 пород-коллекторов и глинистых покрывшек. Это означает, что даже при упругой деформации фундамента в процессе его колебательных движений в коллекторах и покрывшках могут развиваться остаточные деформации, а следовательно, и трещиноватость.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОГНОЗ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Большая часть залежей нефти и газа, открытых в Днепровско-Донецкой впадине, приурочена к терригенным коллекторам порового и смешанного трещинно-порового типов, в связи с чем при оценке перспектив нефтегазоносности девонских отложений наибольшее внимание уделяется терригенным разностям коллекторов.

Ранее уже отмечалось, что девонские отложения указанного региона имеют сложное строение, обусловленное сильно дислоцированным блоковым строением кристаллического фундамента, многофазным проявлением вулканизма и солевого диапиризма.

В составе отложений девона встречены самые разнообразные фации с присущим им не меньшим разнообразием пород по составу. Фациальные изменения иногда столь значительны, что резко выражены даже в пределах одной структуры. Этим обусловлено отсутствие литофациальных карт, с помощью которых можно было бы охарактеризовать пространственное распространение пород-коллекторов и покрышек в девонских отложениях. Представления о развитии коллекторов определенных типов в девоне поэтому базируются на имеющихся геолого-геофизических материалах производственных и научно-исследовательских организаций.

Анализ проведенных работ показывает, что девонские отложения в Днепровско-Донецкой впадине имеют широкое распространение. Граница их развития почти повсеместно совпадает с границей впадины. Только в пределах наиболее приподнятых блоков кристаллического основания (например, Кошелевского выступа) последние отсутствуют или имеют малую мощность. Как уже отмечалось, мощность девонских отложений находится в прямой зависимости от рельефа фундамента и интенсивности его погружения в юго-восточном направлении. Минимальные мощности отложений девона отмечены в северо-западной части, максимальные — в центральном грабене юго-восточной и центральной части впадины, где, по результатам интерпретации комплексных геофизических наблюдений, основание кристаллического фундамента считается определенным до 17 км (Дружковская впадина), а предполагаемая мощность девона оценивается в 4 км и более.

Как отмечают некоторые исследователи (Чирвинская, 1958; Гавриш, 1975; Балуховский, 1969), мощность девонских отложений при общем увеличении к юго-востоку изменяется скачкообразно, что

связано с развитием глубинных разломов, разделяющих впадину на зоны с различными геологическими особенностями.

На территории Днепровско-Донецкой впадины выделены 4 зоны. Для северо-западной части впадины, начиная от Брагинского выступа и до Смеловско-Холмского глубинного разлома, характерна мощность девонских образований от нескольких десятков метров до 2 км, местами до 3 км (в большей части этой зоны мощность девонских отложений не превышает 1,5-2 км). Последние вскрыты в этой зоне многими скважинами, часть из которых вскрыла также и кристаллический фундамент.

Фактические геолого-геофизические материалы свидетельствуют, что в этой части впадины сильно развиты эффузивные образования, проявление же солевого диапиризма выражено слабее. Породы, слагающие девонские отложения, находятся в этой зоне в стадии диагенеза.

К юго-востоку от Смеловско-Холмского глубинного разлома по геофизическим данным и некоторым результатам бурения фиксируется резкое увеличение мощности девонских отложений. Особенно сильно возрастают мощности в синклиналиных зонах центрального грабена. Границей скачкообразного роста мощностей девона является линия Верховцевско-Льговского глубинного разлома. На территории впадины, расположенной между этими глубинными разломами девонские отложения вскрыты только в прибортовых ее частях, при этом фундамент достигнут лишь в скважинах с неполным разрезом девонских отложений. Имеющиеся геолого-геофизические данные дают основания предполагать, что на этом участке в меньшей мере развиты девонские вулканогенные образования, но сравнительно сильно развит солевой диапиризм. Для пород этой зоны характерна измененность стадии эпигенеза (ранний мезокагагенез, по Н.Б. Вассоевичу). Каменноугольные отложения этой зоны имеют, по данным Н.Ф. Балуховского и др. (1969), угольные включения стадий углефикации от Д до К включительно.

Третья зона, расположенная между Верховцевско-Льговским и Томаковско-Купянским разломами, характеризуется еще большими мощностями девонских отложений, сильным развитием солянокупольных структур, более глубокой стадией метаморфизма пород. В кристаллическом основании этой зоны предполагается наличие рифейского палеорифта, который протягивается в сторону Донбасса. Предполагаемая мощность девонских образований в этой зоне (Чирвинская, Смелалина, Забелло, Турчаненко, 1970) достигает 6-8 км, а погружение кристаллического фундамента в пределах Дружковской впадины достигает 17 км. Общая весьма приближенная характеристика мощностей девонских отложений во впадине, приведенная выше, позволяет оценить влияние геологической обстановки на характер распространения пород-коллекторов разного типа в разрезах девона.

По своим тектоническим особенностям наиболее дислоцированными участками в пределах Днепровско-Донецкой впадины являются зоны региональных ступенчатых сбросов, обрамляющих впадину с

северо-востока и юго-запада. В этих зонах окаймления по данным бурения и геофизических исследований отмечается увеличение мощности отложений девона, в которых встречены удовлетворительные по коллекторским свойствам разности пород. Как в северо-восточной, так и в юго-западной зонах краевых разломов выявлены различные по типам, составу и коллекторским свойствам породы, общими особенностями которых, обусловленными близостью областей сноса терригенного материала, являются плохая отсортированность и окатанность кластического материала, сильная глинизация, непостоянство состава, которые отрицательно сказываются на коллекторских показателях пород. Учитывая повышенную дислоцированность пород в этих зонах, а также высокую степень метаморфизма во II, III и IV зонах, можно предположить преимущественное развитие здесь коллекторов высоких и средних классов только трещинно-порового типа.

Исследованные песчано-алевритовые коллекторы ряда площадей, расположенных в северной и южной краевых зонах Днепровско-Донецкой впадины, подтвердили правильность выделения зон развития коллекторов разных типов и классов. Так, на Рыбальской площади в разрезе нижнекаменноугольных отложений встречены кварцевые песчаники III-IV классов (Ханин, 1963), хорошо сохраняющие высокие коллекторские свойства вплоть до глубин 4 км. Емкостные и фильтрационные характеристики этих пород незначительно изменяются и при моделировании пластовых условий.

На Новотроицкой площади исследованы кварцевые песчаники II-IV классов каменноугольных и IV класса девонских отложений. Полученные данные свидетельствуют о том, что при определенных геологических и гидродинамических условиях удовлетворительные коллекторские свойства у пород такого типа могут сохраняться и на больших глубинах (до 6-7 км).

В разрезах подсолевого комплекса девона Грибоворуднянской площади встречены полимиктовые песчаники IV класса по коллекторским свойствам. Результаты их испытаний в условиях моделирования давлений и температур на глубинах отбора пород свидетельствуют о сохранности достаточно высоких коллекторских показателей. В скважинах, вскрывших девонские отложения на этой структуре, отмечены притоки воды и нефтегазопроявления. В южной краевой зоне перспективные, а частично и продуктивные нижнекаменноугольные отложения Западно-Михайловского локального поднятия представлены кварцевыми песчаниками II, III и IV классов. В разрезе девона Калайдинцевской структуры этой же зоны широко представлены полимиктовые песчаники IV класса. Поскольку коллекторские свойства исследованных пород из разрезов этой зоны мало изменяются в условиях, типичных для глубин 2,5-5 км, можно предположить, что при прочих благоприятных условиях отложения девона в разрезах структур этой зоны могут быть нефтегазонасными.

Судя по результатам проведенных исследований, перспективны, по-видимому, задонско-елецкие отложения межсолевого комплекса

девона, изученные по керновому материалу из скважин Видельцевской и Мринской площадей. В разрезах Видельцевской площади встречены полимиктовые песчаники, по коллекторским свойствам относящиеся к коллекторам IV класса, а в разрезах Мринской площади — туфогенные и полимиктовые песчаники того же класса.

Песчаные породы-коллекторы, хорошо сохраняющие свои свойства на больших глубинах, встречены и в разрезах девона ряда других структур описываемой южной краевой зоны Днепровско-Донецкой впадины, таких, как Олишевская, Ульяновская, Петрицевская, Сагайдакская и другие.

В средней части центральной зоны грабена высокоперспективны, а в ряде случаев и продуктивны нижнекаменноугольные отложения Опошнянской, Чижевской, Глинско-Розбышевской, Харьковцевской и Анастасьевской структур. Песчаные коллекторы промышленных классов (I-IV) в нижнем карбоне этих структур представлены кварцевыми разностями. Нельзя не отметить, что сохранность коллекторов высокого качества на глубинах 4-4,5 км в этой зоне, по-видимому, обусловлена повышенными пластовыми давлениями насыщающих пласты флюидов, отмеченными при вскрытии продуктивных толщ на Опошнянской, Сагайдакской и других площадях.

В девонских отложениях некоторых из перечисленных, а также Малосорочинской и Машевской структур встречены коллекторы IV класса как полиминерального, так и существенно кварцевого состава. Учитывая нефтегазоносность верхних этажей разреза лалеозоя на Опошнянской, Глинско-Розбышевской, Машевской и других площадях, по перспективам нефтегазоносности нижнего карбона и девона перечисленные структуры средней части грабена можно отнести к высоко- и среднеперспективным. При этом, по-видимому, в этой зоне на больших глубинах следует ожидать развития преимущественно трещинно-поровых коллекторов.

В северо-западной части центральной зоны Днепровско-Донецкой впадины продуктивны отложения карбона на Монастырищенской, Аргюховской, Прилукской, Богдановской и других площадях. Исследование коллекторов III и IV классов из разрезов нижнего карбона Аргюховской и Довжиковской площадей, представленных кварцевыми песчаниками, показало удовлетворительную сохранность коллекторских свойств пород в условиях, типичных для глубин свыше 4 км. Аналогичные экспериментальные данные были получены и при изучении свойств песчаников девона Брусиловской площади.

Эти данные свидетельствуют о высоких и средних перспективах отложений карбона и девона и в этой части впадины. Учитывая большие глубины залегания пород во II и III зонах центральной части грабена, а также высокую степень катагенеза, трудно ожидать сохранения коллекторов порового типа в этой части впадины.

По-видимому, залежи нефти и газа в центральной части грабена будут приурочены к коллекторам трещинно-порового и трещинно-кавернозного типов. Ввиду отсутствия кернового материала трудно судить о коллекторских возможностях нижнекаменноугольных и девон-

ских отложений в интервале глубин 5–10 км, хотя приближенный прогноз коллекторских свойств может быть дан на основании анализа результатов комплексных геолого-геофизических исследований и экспериментального изучения изменений коллекторских свойств пород при высоких термодинамических параметрах. Так, для этой цели могут быть использованы полученные в настоящем исследовании эмпирические зависимости изменения показателей пористости и проницаемости коллекторов разных классов с увеличением параметров давлений и температур.

О распространении пород-коллекторов глубокозалегающих стратиграфических комплексов Днепровско-Донецкой впадины по площадям можно будет более достоверно судить при построении литолого-фациальных карт, подготовка которых задерживается из-за отсутствия достаточного числа скважин, вскрывших полный разрез каменноугольных и девонских отложений.

Суммируя все изложенное, следует подчеркнуть, что в результате проведенных исследований обоснована высокая вероятность обнаружения залежей нефти и газа в нижнекаменноугольных и девонских отложениях структур с продуктивными вышележащими отложениями.

Этот вывод подтверждается результатами как сравнительного изучения минералого-петрографических особенностей коллекторов, так и изучения их коллекторских свойств в условиях, типичных для глубин залегания.

Установлена существенность влияния на коллекторские свойства пород напряженного состояния, в частности, характерного для тектонически активных участков впадины. Выявлен механизм образования и оценен вклад трещиноватости пород в фильтрационные и емкостные их показатели на больших глубинах.

Выявлено, что характерная для различных зон Днепровско-Донецкой впадины неравномерность преобразования коллекторов одного и того же литологического типа процессами катагенеза на больших глубинах обусловлена, наряду с другими причинами (консервирующим влиянием органического вещества, различиями температурных режимов), также и влиянием тектонического фактора, выражающегося в разрыхлении структуры пород и облегчении процессов растворения и выщелачивания.

Новые данные о деформационном поведении и фильтрационных свойствах терригенных коллекторов девона в условиях эффективных напряжений и температур, типичных для глубин залегания, найдут применение при оценке геологических запасов глубокозалегающих месторождений нефти и газа в девоне Днепровско-Донецкой впадины.

ЛИТЕРАТУРА

- Авчян Г.М. Физические свойства осадочных пород при высоких давлениях и температурах. М., "Недра", 1972. 144 с.
- Авчян Г.М., Матвеевко А.А. О влиянии давления на скорость распространения упругих волн в горных породах. - В сб.: Методика, техника и результаты геофизической разведки. М., "Недра", 1967.
- Аммосов И.И. Палеотемпературы и нефтеносность. - В сб.: Проблемы геологии и нефти. ("Труды ИГ и РГИ", вып. I). М., 1968.
- Архангельская А.Д. Геологическое строение СССР. Европейская и Среднеазиатская части. Л. - М., ГОНТИ, 1932, 425 с.
- Архангельская А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР. Ч. I, М., Гостоптехиздат. 1941, 376 с.
- Байдюк Б.В., Павлова Н.Н., Бабушкин А.В. Установка для определения механических свойств горных пород в условиях всестороннего сжатия до 5 тыс. кгс/см² и при температурах до 350°C. - В кн.: Приборы для исследования физико-механических свойств и структуры материалов, вып. 1. М., ЦИТЭИН, 1962, с. 9-10.
- Байдюк Б.В. Механические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., Гостоптехиздат, 1963. 102 с.
- Балабушевич І. А. Магнітна карта УРСР. Інформ. бюл. № 4-5 (11-12). Київ, АН УРСР, 1945, с. 78-83.
- Балуховський М.П., Кліменко В.Я. Закономірність зміни пористості і проникності пісковик в залежно від складу і типу цементу в них у Дніпровсько-Донецькій западині та на окраїнах Донбасу. - "Геол. журн.", 1955, т. XV, вып. 2, с. 37-44.
- Балуховский Н.Ф., Гавриш В.К., Индутный В.Ф. Методика изучения и прогнозирования коллекторских свойств пород в сверхглубоких скважинах на примере Днепроовско-Донецкой впадины. - В кн.: Проблемы геологии и техники освоения сверхглубокого бурения на нефть и газ в Украинской ССР. Киев, "Наукова думка", 1969, с. 84-100.
- Беляев В.С., Индутный В.Ф., Раков Г.В. Петрофизические особенности вулканитов девона северо-западной части Днепроовско-Донецкой впадины. - Материалы IV науч.-техн. конф. молодых геофизиков Украины. Киев, "Наукова думка", 1971, с. 44-68.
- Богданов А.А., Обручев Д.В., Пушеровский Ю.М., Трусова И.Ф. Материалы по геологии девонских отложений южной окраины Донецкого бассейна к познанию геологического строения СССР. Вып. 9 (13). М., МОИП, 1947.
- Бондарчук В.Г. Геологічна будова УРСР. Київ-Харків, "Радянська школа", 1961, 254 с.
- Борисяк Н.Д. О северном и западном продолжении под новейшими осадками западной части Донецкой каменноугольной формации. - Сб. матер.,

- относящихся к геологии южной России. Кн. I. Харьков, Университетская типография, 1867, 380 с.
- Борисяк А.А. Геологический очерк Изюмского уезда и прилежащей полосы Павлоградского и Змиевского уездов. Северо-Западная окраина Донецкого края. - Труды Геол. комитета, вып. 3. СПб., 1905. 423 с.
- Бортницкая В.М., Алешкина Э.С. К вопросу изучения трещинно-поровых коллекторов девона Днепровско-Донецкой впадины. - "Нефтяная и газовая промышленность". Киев, 1974, № 3, с. 12-14.
- Брiтченко О.Д., Галабуда М.І., Сухорський Р.П., Фещенко Н.І. Домов середньодевонського осадконагромадження в Дніпровсько-Донецькій западині.-ДАНУРСР. Сер. Б, 1973, № 2, с. 101-105.
- Булин Н.К. Современное поле напряжений верхних горизонтов земной коры. - "Геотектоника", 1971, № 3, с. 3-10.
- Воларович М.П., Баяк Е.И. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., "Наука", 1974.
- Гавриш В.К. Глубинные структуры (разломы) и методика их изучения. Киев, "Наукова думка", 1969, 268 с.
- Гавриш В.К. Глубинные разломы, геотектоническое развитие и нефтегазоносность рифтогенов. Киев, "Наукова думка", 1974, 160 с.
- Гавриш В.К. О путях решения проблемы нефтегазоносности девона Днепровско-Донецкой впадины. - "Геол. журн. АН УССР", 1975, т. 35, № 1.
- Геологическое строение и газонефтеносность Днепровско-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донецкого бассейна. Киев, Изд-во АН УССР, 1959, 438 с.
- Гудок Н.С. Изучение физических свойств пористых сред. М., "Недра", 1970.
- Гуров А.В. Геологическое описание Полтавской губернии. Харьков, 1888. 1010 с.
- Добрынин В.М. Физические свойства нефтегазовых коллекторов в глубоких скважинах. М., "Недра", 1965. 163 с.
- Добрынин В.М. Деформации и изменение физических свойств коллекторов нефти и газа. М., "Недра", 1970. 240 с.
- Доленко Г.Н., Варичев С.А., Галабуда Н.И. и др. Закономерности размещения месторождений нефти и газа Днепровско-Донецкой нефтегазоносной провинции. Киев, "Наукова думка", 1968, 215 с.
- Индутный В.Ф., Беляев В.С., Пономарчук Т.В., Фиалко А.И. Влияние литологии гранулярных пород на характер изменений их сжимаемости при различных изотропных нагрузках. - В сб.: Вопросы геологии осадочных отложений Украины. Киев, "Наукова думка", 1972, с. 205-214.
- Карпинский А.П. Замечание о характере дислокаций пород в южной половине Европейской России. - "Горн. журн.", 1883, № 9/111, с. 80-117.
- Карпинский А.П. Общий характер колебаний земной коры в пределах Европейской России. М., Изд. АН, 1894, № 1, с. 1-18.
- Карпинский А.П. Очерки геологического прошлого Европейской России. "Природа", М.-Пг., 1919, 148 с.
- Карпов П.А., Соловьев Н.В., Степанова А.Ф., Лаврентьева В.С., Голая А.П., Филиппова А.И., Костенко М.А. Прогнозирование условий и зон благоприятных для сохранения первичных и развития вторичных коллекторов. - Тезисы докл. Всесоюз. семинара "Коллекторы нефти на больших глубинах". М., изд. МИНХиП, 1975, с. 139-141.

- Клименко В.Я. Структура Днепровско-Донецкой впадины, условия ее формирования и закономерности образования и размещения в ней месторождений нефти и газа. Киев, Изд-во АН УССР, 1957, 104 с.
- Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М., "Наука", 1965, 312 с.
- Кожич-Зеленко М.П., Хоменко В.А. Петрографічна характеристика верхиводевонських та кам'яновугільних викладів району Зачепилівки Дніпровсько-Донецької западині - "Геол. журн.", 1959, т. XIX, вып. 6, с. 61-71.
- Куциба А.М. Деякі нові дані до будови Висачівського соляного купола. - "Геол. журн.", 1937, т. IV (1), с. 162-163.
- Лучицкий В.И. Новые данные по гидрогеологии. - Зап. Киев. об-ва естествоисп., 1917, т. XXV, вып. 2.
- Лукин А.Е., Авсеенко В.Ф., Галиченко Г.К., Жила А.Г., Иванова Е.С. Закономерности формирования коллекторских свойств и прогноз коллекторов на больших глубинах (на примере палеозоя большого Донбаса). - В сб.: Коллекторы нефти и газа на больших глубинах. М., изд. МИНХиП 1975, с. 153-154.
- Лунгерсгаузен Л.Ф. К вопросу о тектонике Украины. В кн.: Материалы конференции по нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины, вып. 1. Киев, Изд-во АН УССР, 1941, с. 59-87.
- Павлова Н.Н. Трещиноватость и разрушение горных пород. М., "Наука", 1970, 96 с.
- Павлова Н.Н. Деформационные и коллекторские свойства горных пород. М., "Недра", 1975.
- Пашкевич Е.И. Маркирующие горизонты в подсолевом девоне Днепровско-Донецкой впадины. - "Изв. вузов. Геология и разведка", 1970, № 8, с. 3-8.
- Пистрак Р.М., Ляшенко А.И. и др. О старооскольских отложениях Днепровско-Донецкой впадины. - ДАН СССР, 1970, т. 195, № 4, с. 923-925.
- Пистрак Р.М., Пашкевич А.И., Бритченко А.Д., Волошина З.Г., Галицкий И.В. Литолого-стратиграфический очерк. В кн.: Проблемы промышленной нефтегазосности девона ДДВ. Киев, "Наукова думка", 1973, с. 5-11.
- Поляк Р.Я. Формирование порового пространства в коллекторах нижнего карбона. Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Коллекторы нефти и газа на больших глубинах". М., МИНХиП, 1975, с. 94-96.
- Порфирьев В.Б. К вопросу о нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины. В кн.: Материалы по нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины, вып. 1, Киев, Изд-во АН УССР, 1941, с. 5-40.
- Соболев Д.Н. Труды научно-геологического совещания по нефти, озокериту и горючим газам УССР. Киев, Изд-во АН УССР, 1949, с. 141-166.
- Соллогуб В.Б. Физические свойства горных пород юго-западного и южного районов Европейской части СССР. Киев, Изд-во АН УССР, 1958, 100 с.
- Справочник физических констант горных пород. (Под ред. С. Кларка). М., "Мир", 1969, 542 с.
- Ставрогин А.Н. Статистические основы прочности и деформации горных пород при сложных напряженных состояниях. - Ж. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых". Новосибирск, "Наука", 1974, с. 3-19.

- Субботин С.І. До питання про механізм формування прогинів земної кори і про тектоніку фундаменту Дніпровсько-Донецької западини. Київ, "Геолжурн. АН УРСР", 1958, в. 18, № 6, с. 3-17.
- Субботин С.И. и др. Глубинная структура территории Украинской ССР по данным геофизических исследований. XXII сессия Международного геологического конгресса. Доклады советских геологов (проблема 2). М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 56-70.
- Тетяев М.М. К тектонике Украины. - "Изв. Геол. комитета", 1926, № 6, с. 99-102.
- Тетяев М.М. Принципы геотектонического районирования территории СССР. Проблемы советской геологии, вып. 1. М., 1933.
- Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.М. Закономерности распределения тектонических напряжений по данным непосредственных измерений в горных выработках. - В кн.: Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы. ЛНТГО, ВСЕГЕИ. Геогр. об-во СССР. Л., 1969, с. 223-224.
- Ханин А.А. Остаточная вода в коллекторах нефти и газа. М., Гостоптехиздат, 1963.
- Черпак С.Е. Результаты разведочных работ на нефть и газ в Днепровско-Донецкой впадине и перспективы развития этих работ на 1959-1965 гг. Геология и полезные ископаемые Харьковского экономического района, вып. 1. Киев, Изд-во АН УССР, 1960, с. 75-79.
- Чирвинская М.В. Основные черты тектоники Днепровско-Донецкой впадины по данным геофизических работ. - Геол. сб. Львовского геол. об-ва, № 5-6, 1958, с. 135-145.
- Чирвинская М.В., Забелло Г.Д., Смекалина Л.В., Турчаненко Н.Т. Типы соляных диапиров и их роль при формировании локальных структур ДДВ. Материалы I симпозиума. - В сб.: Условия образования и особенности нефтегазоносности солянокупольных структур. Львов, "Наукова думка", 1966, с. 160-170.
- Чирвинская М.В., Смекалина Л.В., Забелло Г.Д., Турчаненко Н.Т. Взаимосвязь соляной тектоники Днепровско-Донецкой впадины с рельефом фундамента. - В кн.: Поиски нефти и газа в солянокупольных областях. ("Труды МИНХиП", вып. 90). М., "Недра", 1970, с. 236-241.
- Чуприн Н.Е., Алексеев Л.П., Ковтунов Л.П., Ларченко А.Я. Девонские отложения Днепровско-Донецкой впадины. - "Советская геология", 1966, № 9, с. 43-51.
- Шатский Н.С. О границе между палеозоем и протерозоем и о рифейских отложениях Русской платформы. - "Изв. АН СССР. Сер. геол.", 1952, № 5, с. 35-50.
- Шпак П.Ф., Гавриш В.К., Гринберг И.В., Доленко Г.Н. Проблема промышленной нефтегазоносности девона Днепровско-Донецкой впадины. Киев, "Наукова думка", 1973. 190 с.
- Шрейнер Л.А., Байдюк Б.В., Павлова Н.Н. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., "Недра", 1968.
- Geestma. The effect of fluid pressure decline on volume changes of porous rocks. - Trans АУМЕ, v. 210, 1957, p. 331-339.

ПОЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ

Таблица I

1,2. Аутигенный кварц. Видны слои роста кварца и изогнутые частицы аутигенной гидрослюда. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 6649)

Брусилловская пл., скв. 4, 2782-2793 м, D_{2st}^{22} . 1 - $\times 1800$; 2 - $\times 600$

3,4. Различные модификации кремнезема при раскristаллизации цемента в туфогенном песчанике, вокруг - каолинит (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_{3}^{1}zd-el$. 3 - $\times 1800$; 4 - $\times 600$

5,6. Различные модификации кремнезема при перекristаллизации цемента. Видны также поры и трещины. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_{3}^{1}zd-el$. 5 - $\times 6000$; 6 - $\times 1800$

Таблица II

1,2,3. Аутигенный кремнезем, образующий несколько фаз при перекristаллизации. Образование при этом микропор и трещин. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_{3}^{1}zd-el$. 1 - $\times 12000$; 2 - $\times 6000$; 3 - $\times 1800$

4,5,6. Аутигенный кварц и каолинит. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 4913)

Максаковская пл., скв. 1, гл. 2120-2126 м, $D_{3}^{2}el$. 4 - $\times 6000$; 5 - $\times 1800$; 6 - $\times 600$

Таблица III

1,2. Аутигенный кварц и гидрослюда. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 6649)

Брусилловская пл., скв. 4, гл. 2782-2793 м, D_{2st}^{22} . 1 - $\times 6000$; 2 - $\times 1800$

3,4. Гидрослюда, развивающаяся на участках дефектов регенерационных поверхностей кварца. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 4919)

Максаковская пл., скв. 1, гл. 2120-2126 м, $D_{3}^{2}el$. 3 - $\times 1800$; 4 - $\times 1800$. На рис. 4 виден аутигенный каолинит

5,6. Одновременная раскristаллизация каолинита, гидрослюда и смешанно-слоистого минерала. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 6649)

Брусилловская пл., скв. 4, гл. 2782-2793 м, D_{2st}^{22} . 5 - $\times 6000$; 6 - $\times 1800$

Таблица IV

1,2,3. Окатанное зерно плагиоклаза с четко отпрепарированными двойниками. По краям слабое корродирование гидрослюдой. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot I$ - $\times 6000$; 2 - $\times 600$; 3 - $\times 180$

4,5,6. Аутигенный каолинит, развивающийся за счет плагиоклаза. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 4913)

Максаковская пл., скв. 1, гл. 2120-2126 м, $D_3^1 l_{el} \cdot 4$ - $\times 6000$; 5 - $\times 600$; 6 - $\times 180$

Таблица V

1,2. Сrostки аутигенного каолинита, развитые около плагиоклаза. Песчаник кварцевый, алевритовый (обр. 4913)

Максаковская пл., скв. 1, гл. 2120-2126 м, $D_3^1 l_{el} \cdot I$ - $\times 1800$; 2 - $\times 600$

3,4,5,6. Скелетная морфология калиевого полевого шпата. Наряду с растворением и выносом вещества происходит его замещение хлоритом и гидрослюдами при участии поровых растворов. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot 3$ - $\times 6000$; 4 - $\times 1800$; 5 - $\times 600$; 6 - $\times 1800$

Таблица VI

1,2,3,4. Вторичные изменения биотита. На различных участках одного минерала видны различные стадии его преобразования. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot I$ - $\times 180$; 2 - $\times 600$; 3 - $\times 1800$; 4 - $\times 6000$

5,6. Вторичное изменение биотита на стадии гидрослюд. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot 5$ - $\times 600$; 6 - $\times 1800$

Таблица VII

1,2. Хлорит с гидрослюдой и серицитом. Песчаник полевошпатово-кварцевый (обр. 7442)

Грибоворуднянская пл., скв. 1, гл. 2840-2844 м, $D_2^2 l_{st} \cdot I$ - $\times 6000$; 2 - $\times 1800$

3. Хлорит, окаймленный по краям гидрослюдой. Песчаник кварцевый (обр. 6649)

Брусилловская пл., скв. 4, гл. 2782-2793 м, $D_2^2 l_{st} \cdot \times 600$

4,5,6. Монтмориллонит, развитый по пепловому материалу в цементе туфогенного песчаника (обр. 6440)

Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot 4$ - $\times 600$; 5 - $\times 1800$; 6 - $\times 6000$

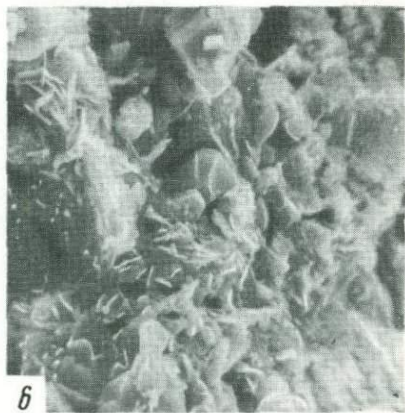
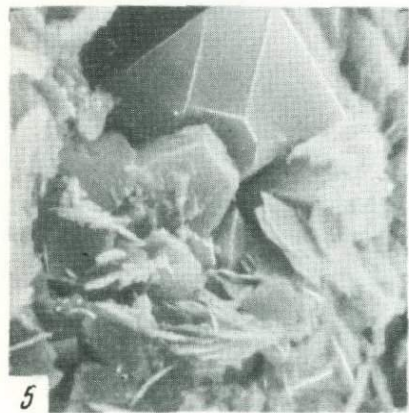
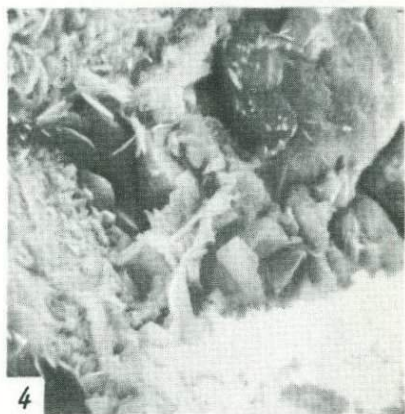
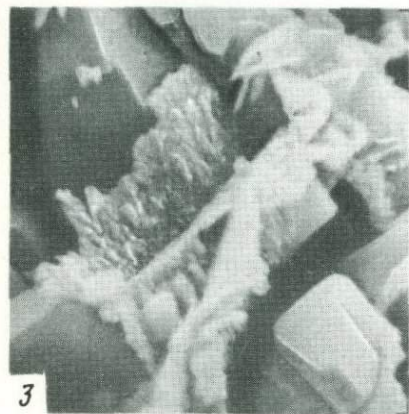
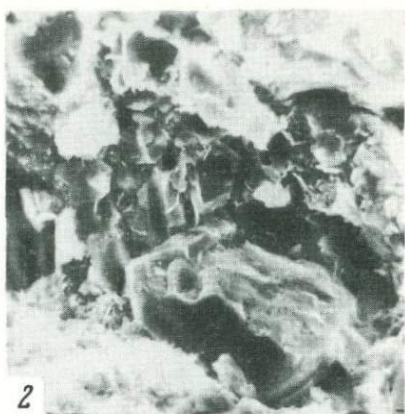
Таблица VIII

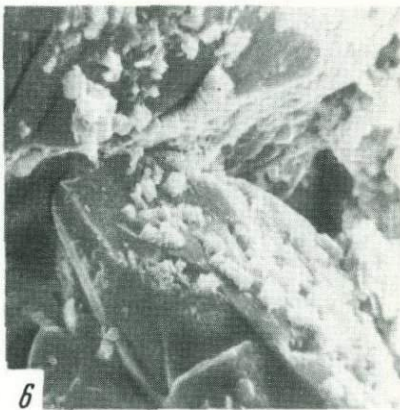
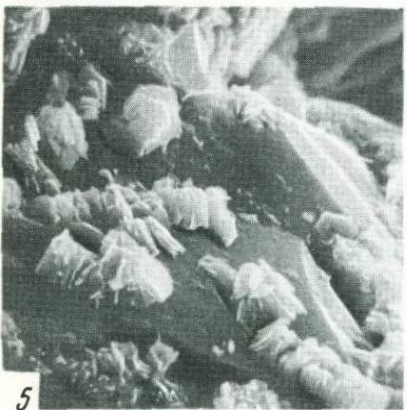
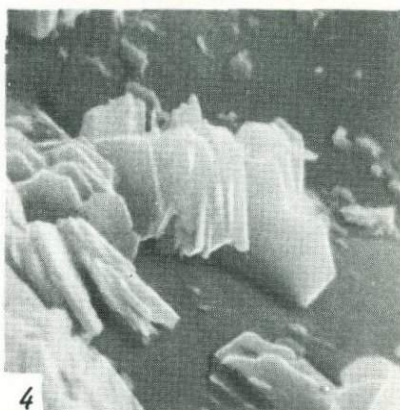
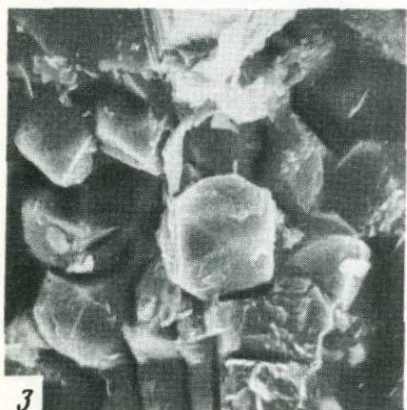
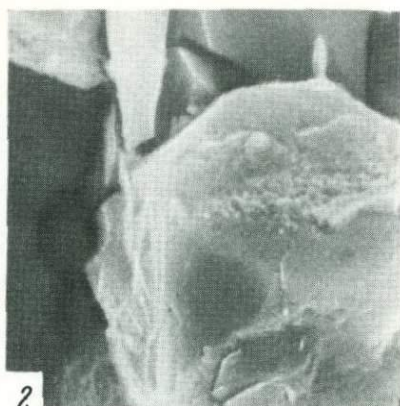
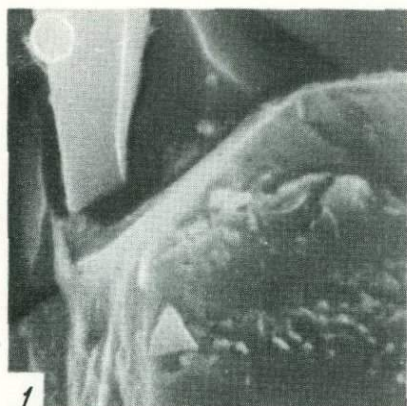
1,2,3,4. Соотношение регенерационных каемок кварца с образованием дислокаций под влиянием давления. Туфогенный песчаник (обр. 6440)

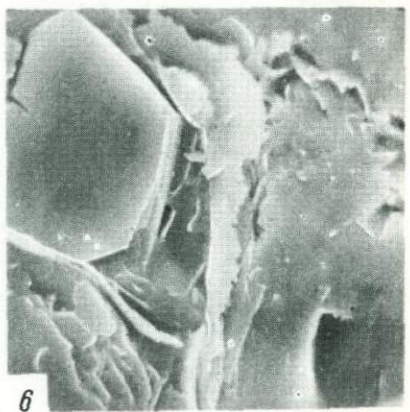
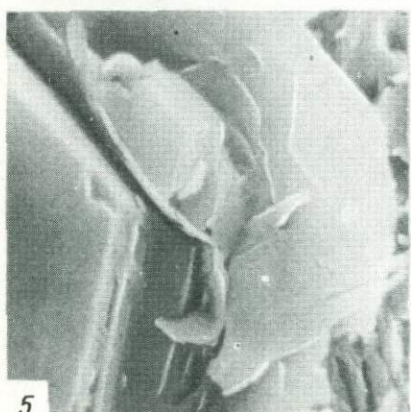
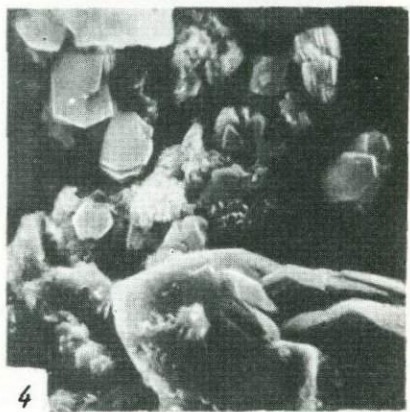
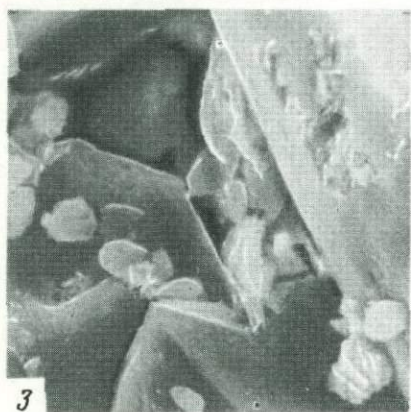
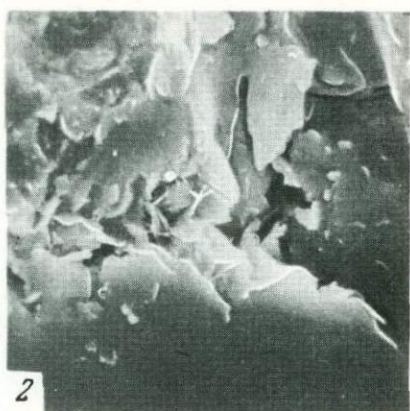
Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 l_{zd-el} \cdot I$ - $\times 180$; 2 - $\times 600$; 3 - $\times 1800$; 4 - $\times 6000$

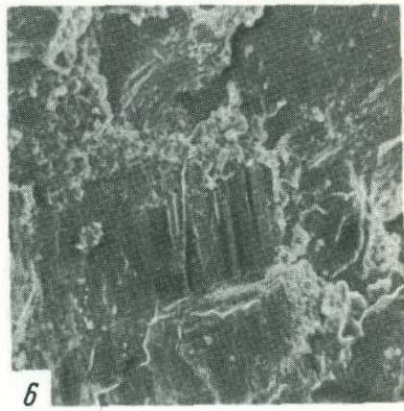
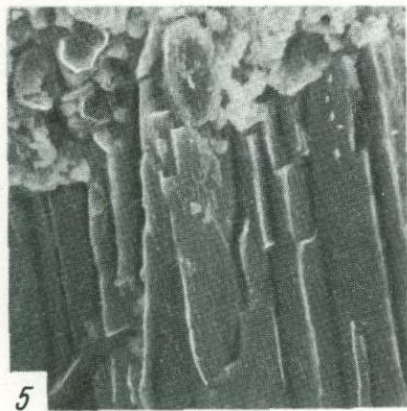
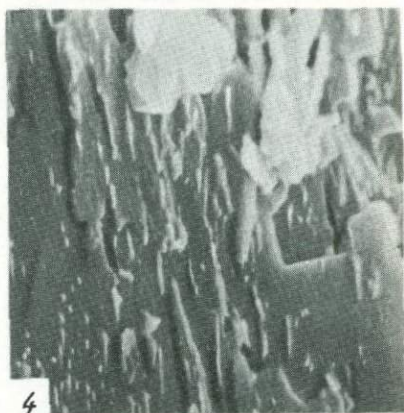
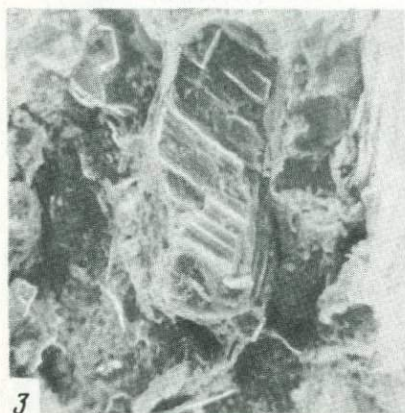
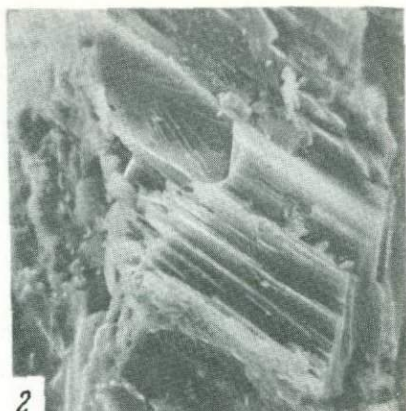
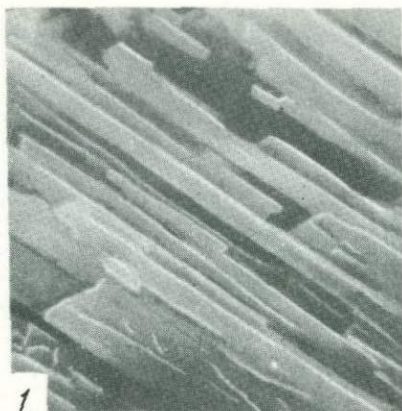
Таблица IX

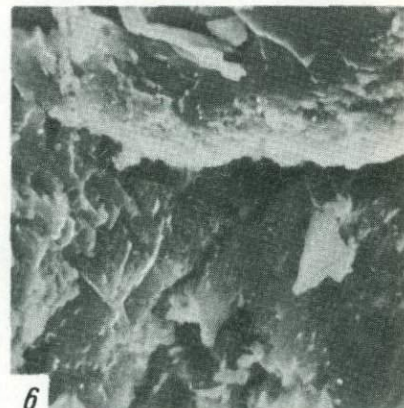
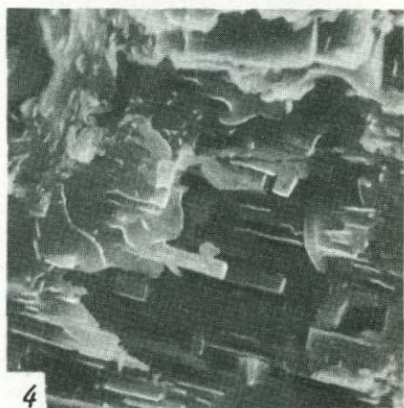
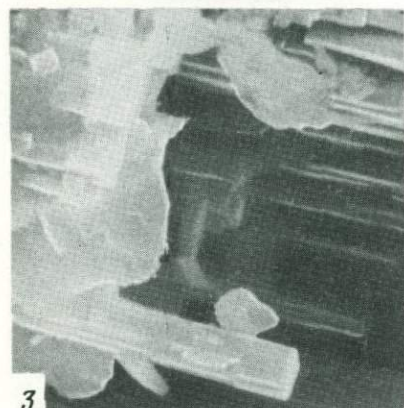
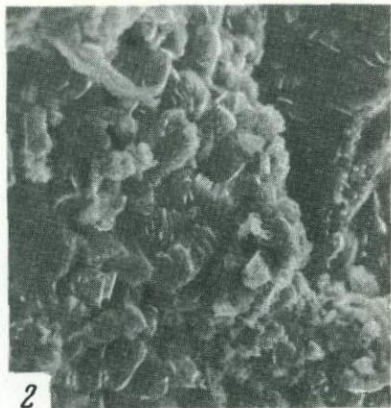
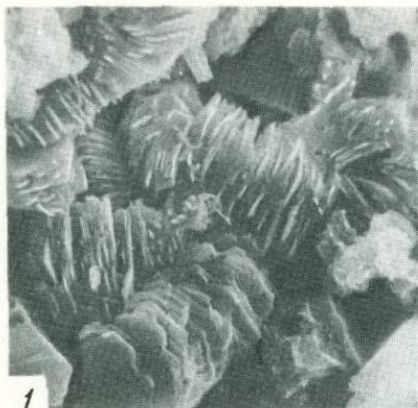
1. Характер границ между аутигенными кристаллами кварца. Песчаник кварцевый (обр. 6649)
Брусиловская пл., скв. 4, гл. 2782-2793 м, $D_2^2 \text{st} \cdot \times 1800$
2. Характер границы между полевым шпатом и регенерированным зерном кварца. Песчаник существенно кварцевый (обр. 4359)
Видельцевская пл., скв. 1, гл. 2264-2267 м, $D_3^2 \text{el-dl} \cdot \times 600$
3. Прокладка хлорита на границе обломков кварца и полевого шпата. Песчаник существенно кварцевого состава (обр. 4359)
Видельцевская пл., скв. 1, гл. 2264-2267 м, $D_3^2 \text{el-dl} \cdot \times 600$
4. Контакт обломков кварца с гидрослюдисто-серицитовой прокладкой. Туфогенный песчаник (обр. 6440)
Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 \text{zd-el} \cdot \times 1800$
5. Корродирование регенерационной каемки кварца гидрослюдисто-серицитовым цементом и образование при этом пустот. Туфогенный песчаник (обр. 6440)
Мринская пл., скв. 210, гл. 2563-2568 м, $D_3^1 \text{zd-el} \cdot \times 1800$











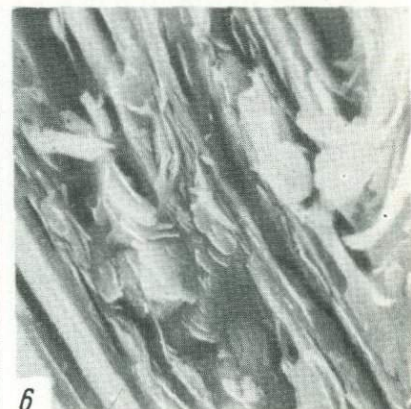
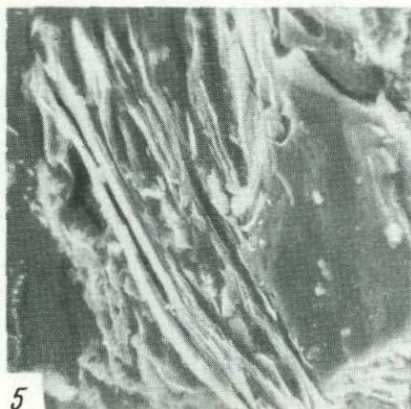
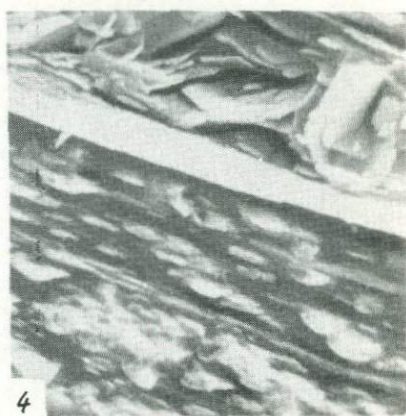
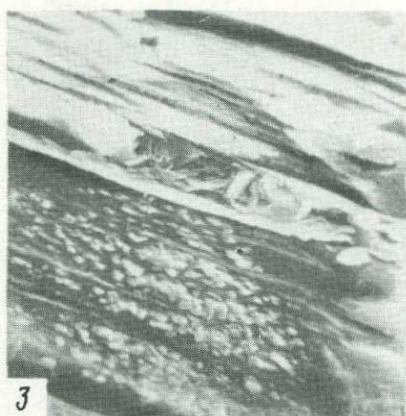
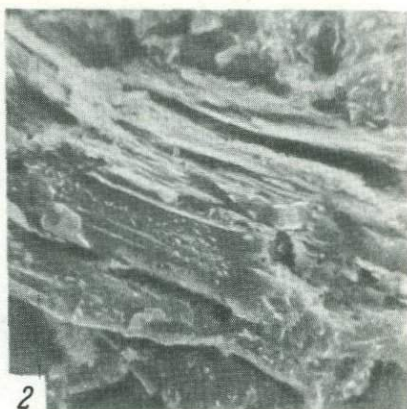
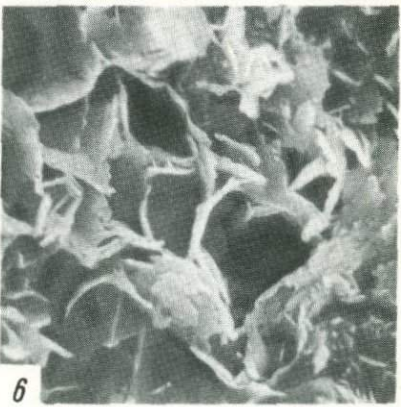
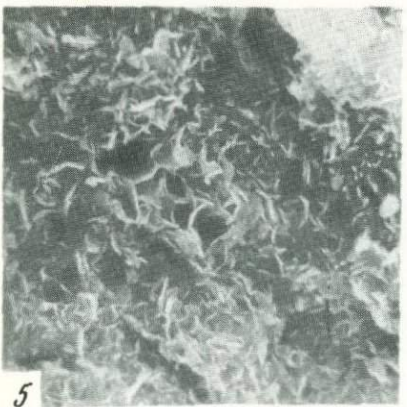
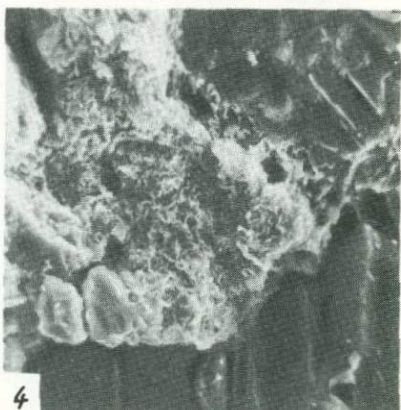
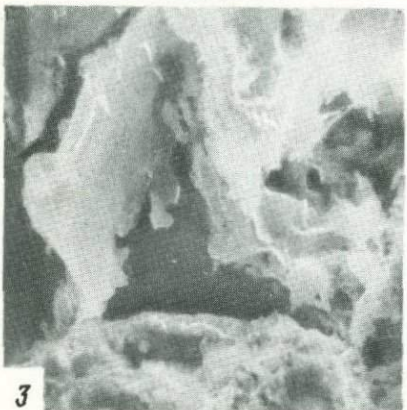
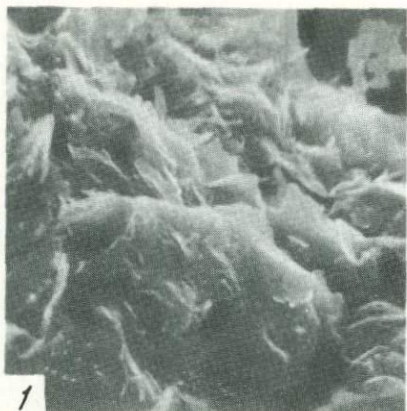
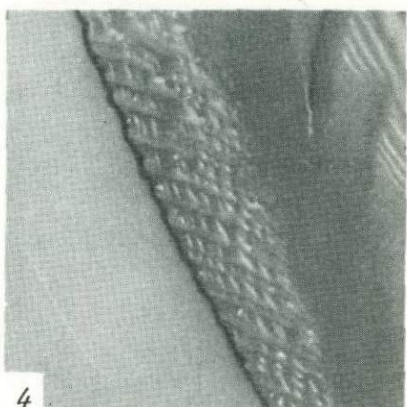
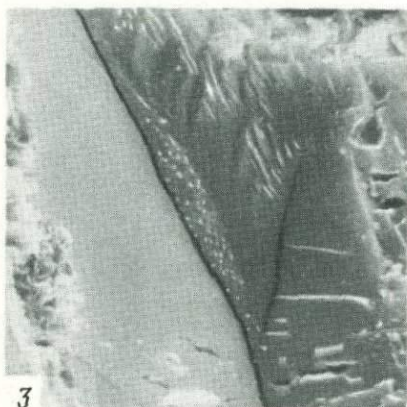
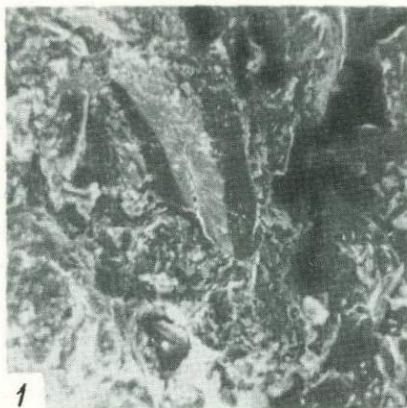
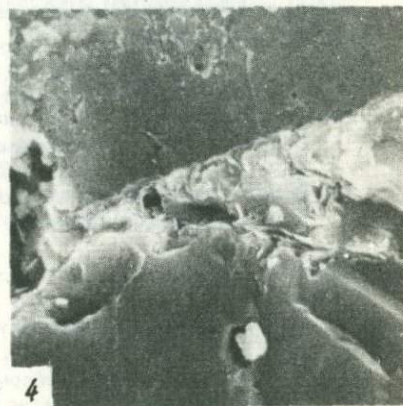
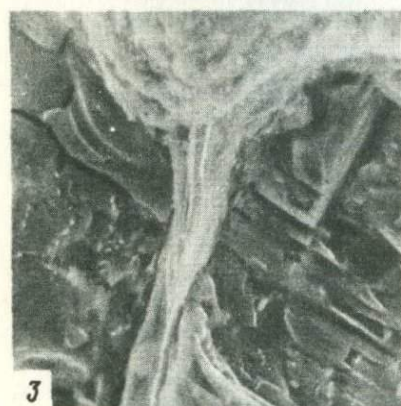


Таблица VII







ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие	3
Глава I.	Краткие сведения о геологическом строении Днепровско-Донецкой впадины (В.Ф. Индутьный)	5
Глава II.	Состояние изученности девонских отложений Днепровско-Донецкой впадины (В.Ф. Индутьный)	9
Глава III.	Современные представления о структурно-тектонических и литолого-стратиграфических особенностях девонских отложений (В.Ф. Индутьный)	13
Глава IV.	Результаты изучения литолого-петрографических особенностей и коллекторских свойств пород девонских отложений . .	18
	Литолого-петрографическая характеристика пород девона (В.Ф. Индутьный)	-
	Вторичные изменения терригенных пород и их влияние на коллекторские свойства (Р.А. Кобышева)	37
Глава V.	Влияние термодинамических условий на коллекторские свойства пород	46
	Экспериментальная аппаратура и методика исследования (Н.Н. Павлова)	47
	Результаты изучения деформационных и коллекторских свойств пород при эффективных напряжениях и температурах (Н.Н. Павлова, Г.Е. Кузьменкова)	59
	Коэффициенты проницаемости коллекторов при объемных напряжениях и температурах (Н.Н. Павлова)	65
Глава VI.	Влияние неравномерного объемного напряженного состояния на коллекторские свойства пород	74
	Методика исследований (Н.Н. Павлова)	75
	Результаты изучения деформаций пород в условиях неравномерного объемного сжатия и их влияния на коллекторские и изолирующие свойства (Н.Н. Павлова, Г.Е. Кузьменкова)	76
Глава VII.	Сравнительная характеристика и прогноз коллекторских свойств пород в различных геотектонических зонах (Н.Н. Павлова, В.Ф. Индутьный)	89
	Литература	94
	Пояснения к таблицам	98
	Таблицы	101

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ
И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ДЕВОНА
ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

*Утверждено к печати
Институтом геологии и разработки
горючих ископаемых*

Редактор *В.И. Кондратьева*
Художник *М.В. Буткевич*
Художественный редактор *С.А. Литвак*
Технический редактор *Н.А. Посканная*

Подписано к печати 5/V-77 г. Т-07752
Усл.печ.л. 7,0. Уч.-издл. 7,2
Формат 60 x 90 1/16. Бумага офсетная № 1
Тираж 650 экз. Тип.зак. 158.
Цена 72 коп.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука",
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

72 коп.

2254