

К проблеме нефтегазообразования в стратисфере

В.Н. Холодов

Геологический институт РАН

e-mail: korneva47@yandex.ru

Аннотация. В верхней части разрезов нефтегазоносных бассейнов изменяющаяся пористость глинистых толщ рождает в смежных коллекторах элизионное перемещение флюидов и аномально высокие и аномально низкие давления. В нижних частях, на глубинах более 2,5–3,0 км глины предельно уплотняются, кливажируются, меняют свой минералогический состав, а фазовые превращения воды и органики приводят к образованию сверхвысоких давлений флюидов; эти изменения совпадают с главными фазами нефте- и газообразования. Замедленное перемещение флюидов осуществляется по трещинам и скачкообразно; оно способствует формированию сейсмических толчков, кластических даек, «горизонтов с включениями» и грязевых вулканов.

Ключевые слова: осадочные бассейны, стратисфера, керогены, флюиды, элизионные процессы, нефтегазообразование.

Для цитирования: Холодов В.Н. К проблеме нефтеобразования в стратисфере // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art1>

Осадочные породные бассейны пользуются очень широким распространением на континентальном блоке нашей планеты. Они заключают в себе значительную часть стратисферы (осадочной оболочки Земли), процессы, в них происходящие, соответствуют заключительной стадии осадочного породообразования (катагенез), а многие из этих бассейнов являются нефтегазоносными провинциями.

Размеры осадочно-породных бассейнов колеблются в широких пределах, однако для понимания катагенетических проявлений в них наибольшее значение имеют глубины распространения осадочных пород, ограниченных на платформах поверхностью кристаллического фундамента.

Анализ большого фактического материала [1–9] приводит к выводу, что средние глубины распространения осадочных пород в осадочно-породных бассейнах оцениваются в 10–12 км, а максимальные – 27–30 км (Прикаспийская впадина). Это означает, что термобарические обстановки на глубинах в среднем достигают 300–360 °С и 2700–3240 кг/см² (паскалей) или 3–4 атм, а при максимальных глубинах – 800–900 °С и давлений в 8–10 атмосфер.

Осадочные бассейны представляют собой системы, в которых идет непрерывное образование самых молодых осадков, тогда как древние породы, перекрываясь все большей мощностью пород, как бы опускаются вглубь системы, в область высоких температур и давлений.

По своим физическим свойствам среди осадочных пород, слагающих стратисферу, выделяются три группы.

К первой группе принадлежат пластические породы – глины, глинистые сланцы, угли, отчасти эвапориты. Они легко деформируются при увеличении геостатического давления, сокращают свое пористое пространство при погружении, быстро превращаются в покрышки коллекторов и изолируют проницаемые флюидосодержащие пласты.

Вторую группу образуют грубообломочные породы – песчаники, гравелиты, конгломераты, отчасти алевролиты. Они слагаются жесткими терригенными минералами, образующими прочный каркас, активно сопротивляются увеличению геостатических давлений при погружении и обычно формируют пласты флюидных коллекторов.

Наконец, к третьей группе принадлежат карбонатные породы: они, с одной стороны, формируют коллектора (оолитовые известняки, ракушечники и др.), а с другой – образуют плотные покрышки (мергели, водорослевые известняки и др.). Однако главная их особенность заключается в том, что при повышении температуры и давлений они способны растворяться в водах и переотлагаться, формируя аутигенные формы скоплений. В грубообломочных коллекторах такой переотложенный материал образует цемент пород и формирует пробки-кольматации.

Количественные соотношения выделенных групп в слоистой оболочке Земли очевидны. Как показал Н.Б. Вассоевич [10], более половины осадочной оболочки слагается глинами и глинистыми породами. Согласно количественным расчетам А.Б. Ронова [11] глины и глинисты составляют 45–50% континентальной стратисферы, песчаники и терригенные породы – 23,9%, карбонатные отложения – 16,5%, а вулканогенно-осадочные образования – 12,4%.

Чрезвычайно важным обстоятельством является способность глин и глинистых пород накапливать органическое вещество. Эта особенность хорошо видна при изучении современных осадков и опирается на сходство гранулометрических размеров глинистых минералов и планктоногенных остатков органики. Впервые эта особенность глинистого

материала была выявлена П. Траском [12, 13] и развита в более поздних работах Н.М. Страхова [14], Д.Е. Гершановича [15], Н.Б. Вассоевича [10], Е.А. Романкевича [16], В.Н. Холодова и Р.И. Недумова [5, 6] и др.

Максимальное количество органического вещества в современных осадках Берингова и Норвежского морей, по данным Д.Е. Гершановича [15], достигнет 10% Сорг.

В современных осадках Черного моря содержание Сорг. колеблется в пределах 1,74–4,54% [14], тогда как в черных древнечерноморских илах оно достигает иногда 20,32% [17]. В чокракско-карачанских глинах Восточного Предкавказья содержание органического углерода меняется от 0,11 до 2,33% Сорг. при максимальных содержаниях в черных сланцеподобных разностях [4].

Органическое вещество чрезвычайно чутко реагирует на изменение температуры. Это в первую очередь относится к углям и угленосным отложениям. Так, например, на карте углей Донбасса, составленной Е.В. Погребницким [18], хорошо видно, что в наименее погруженной части структуры, там, где господствуют низкие температуры, распространены бурые угли, тогда как в области погружения и высоких температур развиты антрациты.

Как показано в работах М.Р. Тайхмюллера [19], а также И.И. Амосова и В.И. Горшкова [20], отражательная способность витринита (одного из ведущих мацералов углей) тесно связана со степенью метаморфизма углей и ее величина отражает стадию катагенетических преобразований вмещающих пород (табл. 1).

Изменения рассеянного органического вещества (РОВ) глин по мере погружения слоев осадочно-породного бассейна вглубь недр показаны на рис. 1. В левой части графика приведена шкала катагенеза, привязанная к глубинам погружения глинистых отложений Восточного Предкавказья [5, 6]. Правее располагается диаграмма преобразования РОВ, построенная на основе работ С.Г. Неручева, А.А. Трофимука и Е.А. Рогозиной [21], которые исследовали огромное количество скважин Западной Сибири и Предкавказья. В них на основе исследования элементного и компонентного состава РОВ были рассчитаны балансовые соотношения и показана последовательность преобразования РОВ глин при их погружении вглубь стратисферы.

Таблица 1

Соотношение стадий углеобразования и величины отражательной способности витринита в глинистых отложениях

Стадии углеобразования	Величина коэффициента отражательной способности (Ro)	Стадии катагенеза по Н.Б. Вассоевичу и др. [1975]		Палеотемпература
		Протокатагенез	ПК ₁ –ПК ₃	
Бурые (Б)	< 0,3–0,65	Мезокатагенез	ПК ₁ –ПК ₃	90–100
Длиннопламенные	0,50–0,65		МК ₁	
Газовые (Г)	0,65–0,85		МК ₂	
Жирные (Ж)	0,85–1,15		МК ₃	
Коксовые (К)	1,15–1,55		МК ₄	
Отощено-спекающиеся (ОС)	1,55–2,0	МК ₅	100–220	
Тощие (Т)	2,00–2,50	Апокатагенез		Т
Полуантрациты (ПА)	2,50–3,50			ПА
Антрациты (А)	3,50–11,0		А	

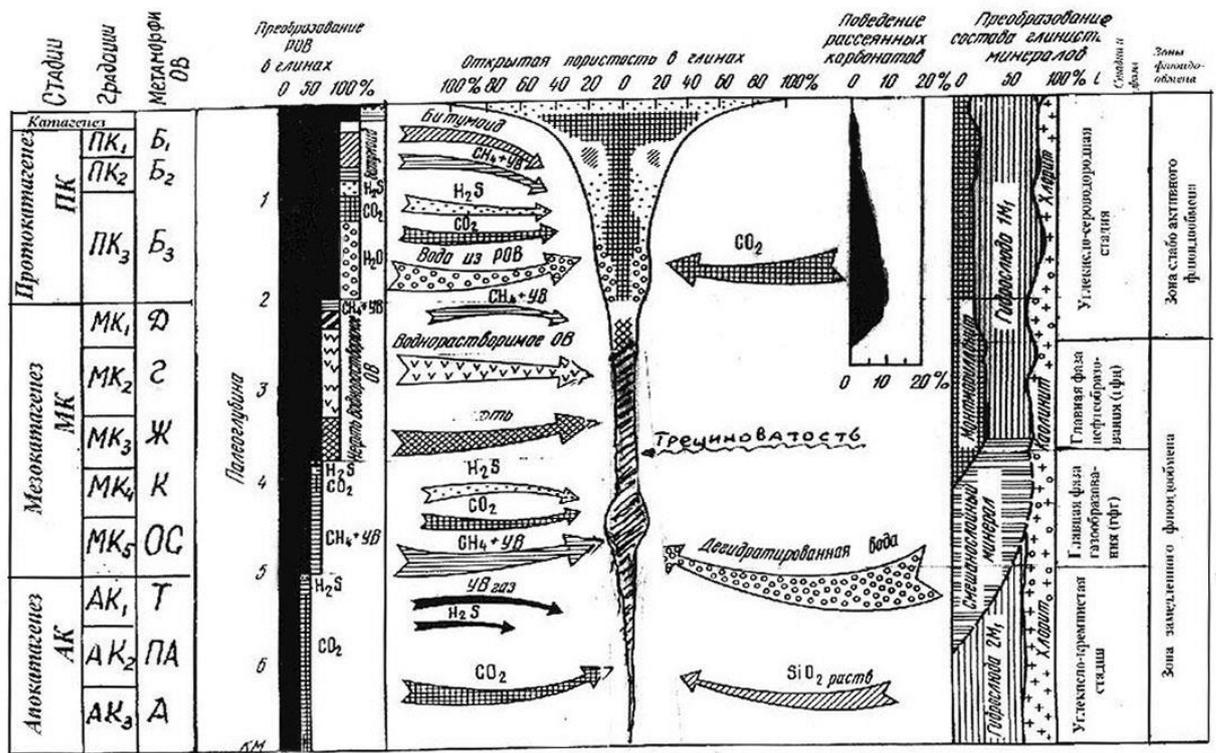


Рис. 1. Трансформация и рассеянность органического вещества (РОВ), пористости и состава глин Восточного Предкавказья (по данным В.Н. Холодова [1983] с дополнениями и исправлениями)

В результате удалось выделить остаточную часть РОВ (на диаграмме обозначена черным цветом) и новообразованную часть, обозначенную штриховкой, а также поясняющими значками и стрелками разной величины.

Прежде всего следует отметить, что количество остаточного РОВ, которое в придонных осадках оценивается в 100% при погружении на 7 км уменьшается до 17%. При этом остаточная часть РОВ трансформируется следующим образом.

На стадии диагенеза в результате микробиологических процессов и химического взаимодействия с иловыми водами жиры, белки и углеводы, разлагаясь, дают сахароиды и органические кислоты (гуминовые, фульвокислоты и др.).

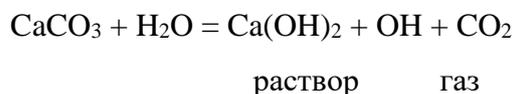
Ниже, на глубинах 2,5–3,0 км, в осадочно-породных бассейнах формируются частицы керогена, молекулы которого имеют сложный трехмерный углеводородный каркас, состоящий из поликондексированных ароматических ядер, в котором алифатические мостики соединяют его с более простыми циклановыми и алкановыми структурами. При термолизе молекулы керогена распадаются, давая начало жидким нефтям и газообразным углеводородам. При этом кероген обуглероживается, давая начало антраксолитовым и шунгитовым образованиям.

Преобразование керогена в нефть реализуется на глубинах 2,5–3,8 км (Главная фаза нефтеобразования), а массовое газообразование соответствует интервалу 3,8–5,0 км.

Справа от колонки остаточного РОВ на рис. 1 стрелками показаны компоненты, выделяющиеся из органического вещества в процессах его преобразования; к сожалению, их точные количественные соотношения по данным С.Г. Неручева и др. [21] рассчитать не удалось.

В центральной части графика приводится схема преобразования пористости глинистых пород по мере их погружения на разные глубины породного бассейна. Как это показано в работах Н.Б. Вассоевича [22], а также Х. Хедберга, Дж. Уэллера, В.М. Тихомирова, Г.Х. Рикки и Д.В. Чилингаряна, в верхней части разреза пористость и проницаемость глин сокращается от 40–50% и до 1,8–2,0%; примерно с глубины 2,5–3,0 км разрезы слагаются плотными сланцеподобными разностями глин, полностью потерявшими свою пластичность. Здесь на смену пористости приходит кливаж и трещиноватость.

Правее диаграммы пористости расположена предполагаемая схема поведения карбонатов в зоне пластических и пористых глин. Как показали эксперименты Н.Г. Киссина и С.И. Пахомова [23–25] и др., при повышении температур поровых растворов выше 80 °С осуществляется гидролиз карбонатов, реализующийся по схеме:



В результате пластовые воды обогащаются растворенными CaO и MgO, а также углекислотой; потери последней при дегазации раствора приводят к вторичной карбонатизации проницаемых вмещающих пород.

Фактической основой диаграммы, приведенной на рис. 1, являются литолого-геохимические исследования, проведенные нами в пределах Восточного и Западного Предкавказья [1, 2, 5, 6]. Здесь в среднем течении р. Сулак и в разрезах сверхглубокой Кубанской скважины (СГС-1 и СГС-2) были исследованы два полных разреза мезозойско-кайнозойских отложений, в которых систематически отобраны образцы глинистых пород (рис. 2).

В лаборатории физических методов изучения порообразующих минералов ГИН РАН (руководитель В.А. Дриц [26]) с помощью дифрактометрических методов были исследованы соотношения глинистых минералов в 96 образцах глинистых пород; их относительное расположение и номера показаны на рис. 2, а, б. Оказалось, что в глинистых толщах Предкавказья можно сверху вниз выделить три зоны, сменяющие друг друга:

1) Зона широкого распространения смектита в сочетании с гидрослюдой модификации Md, а также хлорита и каолинита; в сулакском разрезе она прослеживается до палеоглубин в 3,7 км, в Кубанском – до 3,0 км.

2) Зона резкого уменьшения содержания смектита и распространения смешанослойных структур; эта переходная зона на р. Сулак имеет мощности в 0,5 км, а на Кубани – 0,4–0,5 км. В различных районах мира эта переходная зона была описана в работах Х. Берста [27], Ф. Перри и Дж. Хауэра [28], К. Магара [29], Х. Рикки и Дж. Чилингаряна [30], В.А. Дрица и А.Г. Коссовской [26] и др.

3) Ниже располагается зона существенного уплотнения и кливажирования глин, в которых повсеместно проявляется сланцеватость и развиты гидрослюды модификации $2M_1 > 1M$.

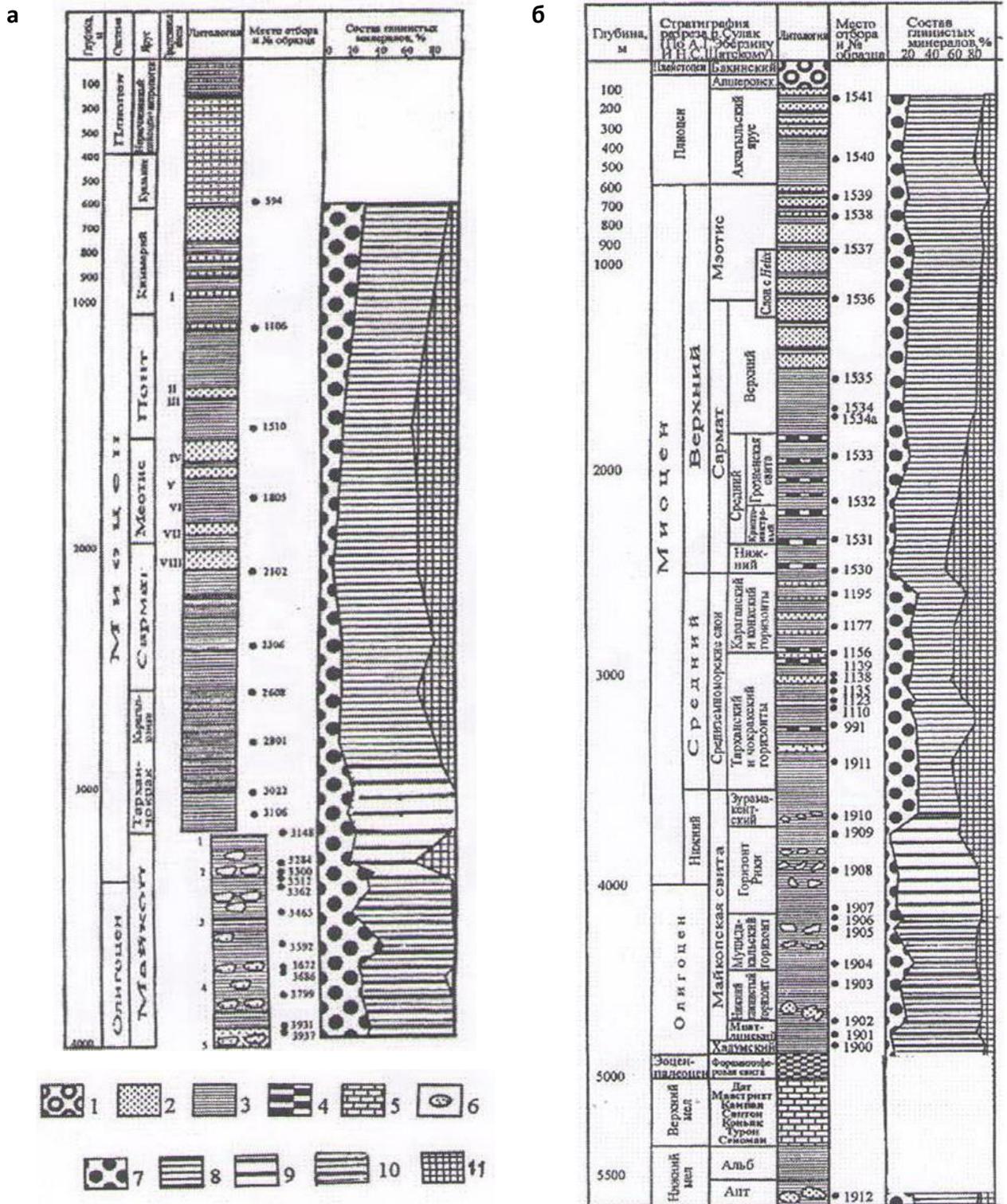


Рис. 2. Катагенетические преобразования глинистых минералов в разрезах Предкавказья: а – мезозойско-кайнозойские отложения р. Сулак (Восточное Предкавказье); б – кайнозойские отложения сверхглубокой скважины Кубани (Западное Предкавказье). Литологический состав: 1 – конгломераты; 2 – песчаники; 3 – глины; 4 – мергели; 5 – известняки и доломиты; 6 – конкреции состава глинистых минералов; 7 – хлорит и каолинит; 8 – гидрослюда модификации Md; 9 – смешанослойные образования; 10 – гидрослюда 2M₁ > 1M; 11 – смектит

Обобщенное строение и минеральный состав глинистых толщ Предкавказья показан в правой стороне диаграммы рис. 2.

Возвращаясь в целом к анализу графика, представленного на рис. 2, необходимо отметить, что в глинистых толщах Предкавказья четко выделяются две зоны. Верхняя зона представлена пластичными пористыми глинами, содержащими избыточное количество монтмориллонита. Вторичные преобразования РОВ в них сравнительно невелики и сводятся к образованию газообразных CO_2 и H_2S и водорастворимого органического вещества. Нижняя зона уплотненных и кливажированных глин отмечается преобразованием керогена в нефть и газообразные нефтяные углеводороды – это Главная фаза нефтеобразования и Главная фаза газообразования (ГФН и ГФГ). Под микроскопом здесь отмечается обилие трещинок, выполненных битумоидами.

Процессы, происходящие в нефтегазоносных породных бассейнах трудно понять, если не учитывать главные закономерности флюидодинамики в стратисфере.

Проблемы флюидодинамики стратисферы обсуждались в работах многих гидрогеологов. Если учесть труды Б.М. Личкова [31, 32], Ф.А. Макаренко [33, 34], В.П. Зверева и др. [35], А.А. Карцева и др. [36, 37] и ряда других исследователей, то флюидодинамическую зональность стратисферы можно представить себе так, как она показана в табл. 1. В разрезах крупных нефтегазоносных бассейнов можно выделить 3 зоны (табл. 2).

Верхняя зона активного флюидообмена развита на приподнятых участках континентов; она характеризуется активным вертикальным движением дождевых, вадозных и грунтовых вод, существенно обогащенных кислородом. Как правило, в связи с их просачиванием формируется вертикальная минералогическая зональность кор выветривания, описанная в работах И.И. Гинзбурга [38], Н.А. Лисициной [39] и др., а также рудообразующая зональность урано-редкометальных месторождений [4; 40; 41]. В целом деятельность инфильтрационных потоков суммируется в общем подземном стоке, нижняя граница которого совпадает с уровнем конечных водоемов стока (озера, моря, океаны).

Нижележащая зона сравнительно активного флюидообмена правильнее должна называться зоной элизионных систем. Определяющую роль в гидро- и флюидодинамике этой зоны играют пористые пластичные глины; эти толщи способны уменьшать или увеличивать свою пористость, передавая растворы в смешанные пласты-коллекторы.

Таблица 2

Интенсивность водообмена и флюидодинамика в породах стратисферы

Зоны флюидообмена	Генетические типы вод (флюидов)	Глубина зоны, км	Причины флюидодинамики	Главный механизм явления
1. Активного флюидообмена или подземного стока	1. Болотные воды 2. Почвенные 3. Грунтовые Напорные (артезианские, инфильтрационные) 5. Кор выветривания	Горы и предгорья – 1,5 равнины – 0,5	Климат региона, рельеф района, тектонические движения, орогеня, выпадение осадков	«Промывной» гипергенез или инфильтрационные воды
2. Сравнительно активного флюидо- водообмена при активном участии сокращения пористости глин	Пластовые воды, жидкая и газообразная фазы углеводородов (нефть, метан, пропан и др., углекислота)	0,5–2,5–3,0	Уплотнение или разуплотнение глинистых толщ, формирование АВПД или АНПД в коллекторах	Образование тандема компрессор-приемник
3. Затрудненного флюидоводообмена	Газовая фаза воды, концентрация водорода и кислорода, жидкие и газообразные углеводороды	2,5–3,0 до трех десятков	Фазовые преобразования воды и органического вещества, образование СВД	Увеличение объема фазы в условиях замкнутой физико-химической системы

На рис. 3, а приводятся кривые уплотнения глин, в которых определялась пористость (в %) и плотность сухого осадка (г/см³); материалы по США представлены на графике К.Е. Уивером [42], тогда как для глин Предкавказья кривые составлены Н.Б. Вассоевичем [22, 43].

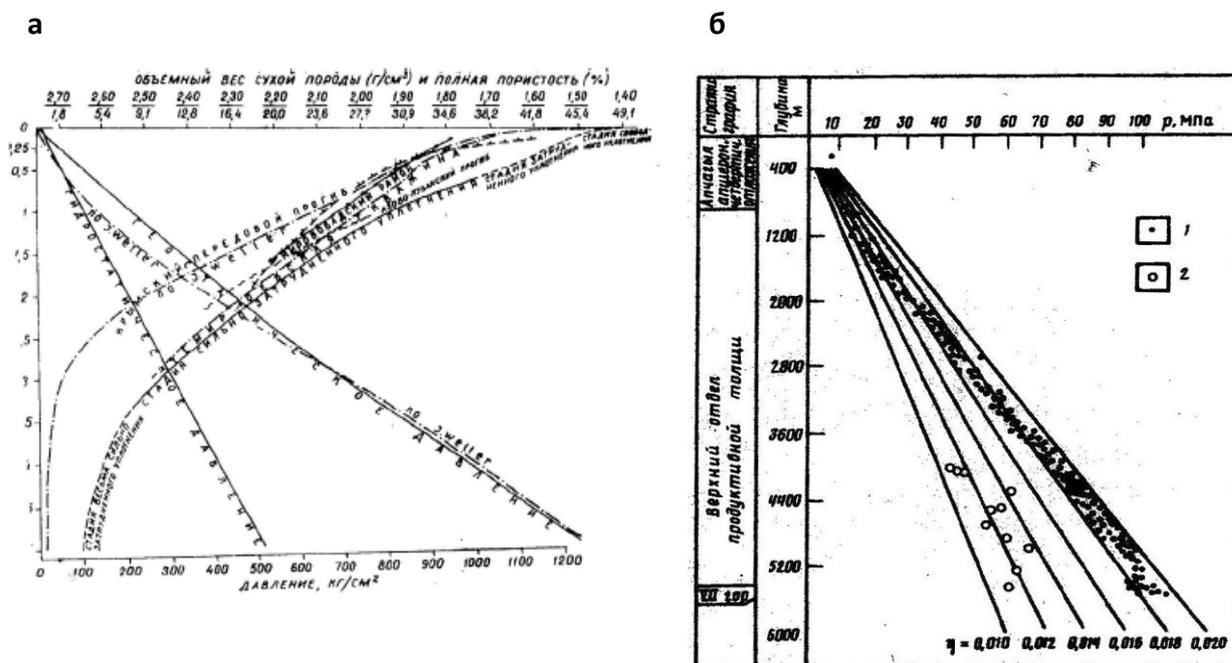


Рис. 3. Закономерность изменения пористости и плотности глин и АВПД в глинах и песчаниках по мере погружения вглубь стратисферы: а – плотность и пористость глин США [Weaver, 1958]; плотность и пористость глин Предкавказья [Вассоевич, 1960, 1962]; б – закономерности изменения АВПД в глинах Азербайджанского архипелага

Очевидно, что при погружении глинистых пород в область высоких термодинамических показателей плотность пород увеличивается, а пористость – сокращается с 50–60% и до 1,8–2,0%. Такое падение пористости (и проницаемости) глин вызывает весьма заметное выделение поровой воды седиментационного и диагенетического происхождения. Точное количество дегидратированной воды учесть довольно трудно. Как показано в работах Н.Н. Rieke и G.V. Chilingarian [30], на этот процесс накладывается минеральный состав глин и ряд других факторов, но все же очевидно, что элизионные воды играют существенную роль в флюидинамике второй зоны.

Глинистые породы вместе с коллекторами образуют единую систему, в которой глины являются компрессором, а жесткие породы реципиентом. В результате, в глинах и коллекторах создаются аномально-высокие давления. Работа такого тандема хорошо

видна на рис. 3, б, где показан рост АВПД, замеренный в скважинах Азербайджана. Очевидно, что величина АВПД в песчаниках всегда уступает аналогичной величине в глинах; такие соотношения однозначно указывают на глины как на генератор повышенных давлений.

Любопытно, что в каждом нефтегазоносном регионе элизионное перемещение вод, а также нефтей и газа вплетается в общую гидродинамику зоны.

Как это показали американские геологи [44–46], в нефтеносных породах штата Оклахома (США) тектонические поднятия толщи глин вызывают уменьшение давлений растворов в связи с ростом пористости, в смежных коллекторах это вызывает падение давлений, формируется АНПД.

Очевидно, что элизионные процессы вполне обратимы.

Другим очень важным процессом зоны сравнительно активного флюидообмена является гидролиз и выпадение в осадок карбонатов. Как это было показано выше, гидролиз карбонатов при высоких термодинамических показателях приводит к формированию активных карбонатных растворов.

Обогащенные карбонатами воды мигрируют в пластах-коллекторах, легко теряют CO_2 и цементируют материнские породы. Таким образом значительная часть песчаников кольтматируется и превращается в жесткий каркас, укрепляющий толщи глин. Широкая цементация песчаников именно на глубинах элизионной зоны была рассмотрена в работах Дж. Петгиджона и др. [47].

Следует, однако, отметить, что среди жестких сцементированных пород сохраняются отдельные «островки» слабо сцементированных пород; в нижележащей зоне они становятся материалом для образования разнообразных секущих форм.

В заключение раздела следует подчеркнуть, что флюиды, мигрирующие в элизионной зоне, имеют сложный состав. Наряду с водами, заимствующими свою геохимическую характеристику от предыдущих стадий породообразования (седиментация, диагенез) и усложняющими свой состав за счет внутренних реакций, в них присутствуют жидкие и газообразные углеводороды, поступившие в элизионную зону из нижележащих, в которых обычно располагаются главная фаза нефтеобразования и газообразования (ГФН и ГФГ).

Элизионная зона обычно простирается до глубин в 2,5–3,0 км; ниже ее фиксируется зона затрудненного флюидообмена и крайнего уплотнения глинистых отложений.

Как хорошо было видно на рис. 2, в этой зоне преобладают гидрослюдистые компоненты; они ориентированы параллельно слоистости, что, по мнению Фон Энгельгарта и др. [48], отображает направленность геостатического давления.

Переориентировка глинистых частиц и сокращение пористости происходит так, как это показано на рис. 4. Одновременно в глинистых толщах сокращается проницаемость, увеличивается сланцеватость и появляются все признаки кливажа. Глинистая толща превращается в *закрытую* физико-химическую систему, в которой реакции подчиняются принципу Ле Шателье: «Если в замкнутой системе, находящейся в физико-химическом равновесии, изменять приложенные к ней температуру, давление или концентрацию химических элементов, то в ней возникают силы, прямо противоположные первоначальному изменению».

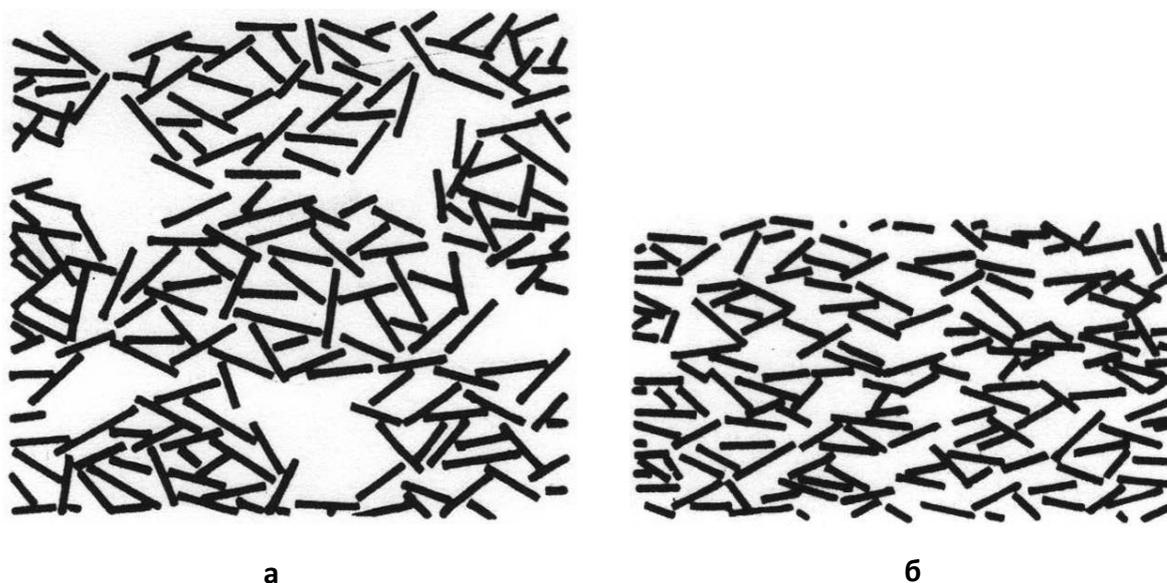


Рис. 4. Упорядоченность глинистых частичек (а) и сокращение пористости при сжатии (б)
[Von Engelhardt, Gaida, 1963]

Реакция глинистой толщи на фазовые преобразования различных компонентов вызывает, таким образом, совершенно своеобразные результаты. Чаще всего фазовые превращения органического вещества (РОВ) или воды, происходящие с уменьшением удельного веса и увеличением объема, рождают сверхвысокие давления (СВД), существенно отличающиеся от АВПД как по своим величинам, так и по производимым результатам.

Фазовые преобразования в зоне затрудненного флюидообмена происходят на четырех разных уровнях.

На первом уровне осуществляется процесс гидрослюдизации глин. Здесь разбухающий, содержащий кристаллизационную воду монтмориллонит переходит сначала в смешанослойные образования, а затем в гидрослюду. При этом выделяется много кристаллизационной воды, которая накапливается на уровне критических Т и Р так, как это показано на рис. 5, а. Так как процесс поддерживается непрерывным поступлением новых порций монтмориллонита на уровень критических термодинамических показателей, давление высвобождающейся воды достигает огромных значений. Как показано на рис. 5, б, оно способно деформировать целые пласты песков и песчаников.

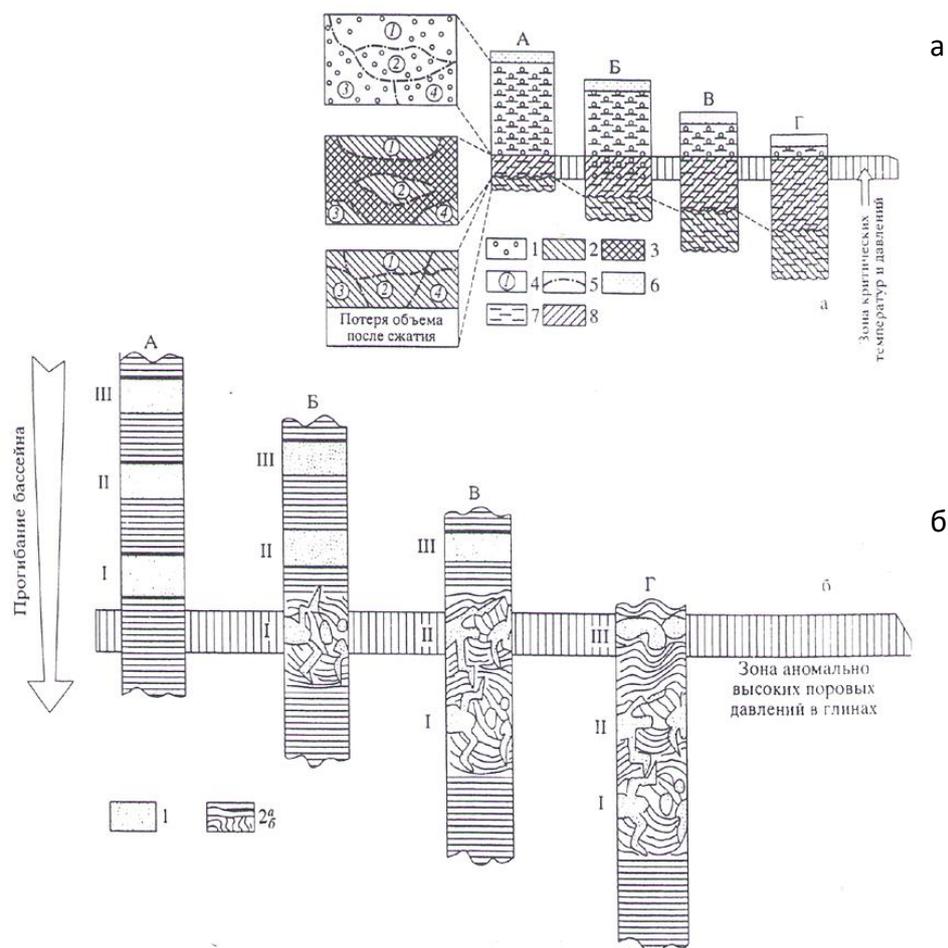


Рис. 5. Механизм и следствие дегидратации монтмориллонитовых глин в песчано-глинистых толщах: а – механизм формирования СВД в глинах: 1 – блоки смектита, 2 – блоки смешанослойных глин (гидрослюды), 3 – выделившаяся кристаллизационная вода, 4 – нумерация блоков, 5 – границы блоков, 6 – песчаник, 7 – смектитовые глины, 8 – гидрослюдистые глины с кливажем; б – деформация песчаных пластов вследствие дегидратации глин: 1 – песчаники, 2 – глины неизменные

Второй уровень соответствует точке кипения воды и располагается на глубине 3,0–3,3 км. Благодаря высокому давлению здесь замедляется переход воды в пар, а вместо жидкой фазы образуется сибтоксическая фаза. Она очень похожа на пар и отличается от него удельным весом ($0,3 \text{ г/см}^3$), переход воды (уд. вес $1,0\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$) в сибтоксическую фазу рождает очень высокое давление, которое непрерывно растет за счет поступлений новых порций воды сверху.

Третий уровень формирования сверхвысоких давлений связан с главной фазой нефтеобразования. Как было показано на рис. 1, в Предкавказье эта зона охватывает глубины от 3,0 до 4,0 км; здесь содержится максимальное количество остаточной Сорг., а в шлифах широко распространены битумоиды, заполняющие тонкие трещинки в глинах. Здесь в период погружения твердое органическое вещество (кероген) с удельным весом $1,0\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$ трансформировалось в жидкие углеводороды (нефть) с удельным весом $0,6\text{--}0,7 \text{ г/см}^3$; соответственно увеличивался объем жидкой фазы и росло ее давление в толще глинистых отложений.

Еще ярче аналогичные процессы фазовых превращений проявляются на четвертом уровне – в пределах главной фазы газообразования (глубина $4,0\text{--}5,0 \text{ км}$): здесь РОВ, представленное керогеном с объемным весом $1,0\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$, превращается в углеводородные газы с весом $0,3\text{--}0,4 \text{ г/см}^3$ и эта трансформация создает сверхвысокие давления в глинах.

Наконец, на самых больших глубинах (до 20 км) вода разлагается на кислород и водород и это фазовое превращение в свою очередь обеспечивает появление СВД.

Запечатанные в глинах сверхвысокие давления флюидов (различных форм воды, нефти и газов) стремятся перераспределиться, однако путями их перемещения являются не поры, а трещины и разломы. Перераспределение СВД в толщах квиважированных глин осуществляется крайне медленно, для заметной их миграции требуются месяцы и годы.

Характерно при этом, что движение флюида по трещинам осуществляется не равномерно, а скачкообразно. Заполнение флюидом крупной трещины напоминает выстрел из ружья, а это в свою очередь вызывает колебания всей массы пород.

Таким образом, следствием перераспределения флюидов СВД в пластах глин являются сейсмические толчки разной интенсивности. По существу, как это в свое время предполагал Б.В. Григорьянц [49], а также Б.В. Григорьянц и др. [50], уплотнение глины глубоких частей разреза являются верхним сейсмическим слоем литосферы.

Часть флюидов (вода, газ, нефть) перемещается в сторону вышележащей элизионной зоны и смешивается с активно перемещающимися там элизионными водами. По мнению А. Леворсена [51], это перемещение нефтяных углеводородов следует рассматривать как этап первичной миграции.

Вторичная миграция осуществляется уже в пределах элизионной зоны. Здесь смесь воды, нефтей и газов попадает в тектонические, стратиграфические, литологические или биологические ловушки, концентрируется в них и разделяется на зоны: вода, нефть, газ. Такая фазовая дифференциация определяется разностью удельных весов фаз, участвующих в процессе, интенсивностью пленочных и капиллярных процессов, растворимостью разнофазных компонентов и рядом других факторов [25, 52, 53].

Другая, остаточная часть флюидов СВД в зоне затрудненного флюидообмена распространяется по трещинам и ослабленным зонам кливажированной глинистой толщи. Особую активность флюиды СВД приобретают на тех участках толщи, где находятся слабо сцементированные пески, резко отличающиеся по проницаемости от других частей прочного песчаникового каркаса.

Как это показано в работах К. Крейчи-Графа [52], флюиды разжижают такие пески, превращают их в пльвуны или конкреционные тела, но чаще внедряют их в трещины и тектонические разломы, формируя кластические дайки и «горизонты с включениями». Различные типы таких эпигенетических деформаций изображены на рис. 6. Характерно, что падение давлений CO_2 после внедрения песчаной пульпы в трещину обеспечивает четкий слепок стенок такой заполняющейся трещины.

Можно предположить, что и в данном случае это связано с сейсмическими последствиями дайкообразования.

Размеры песчаных даек достигают 300–400 м в длину и 1,5–2,5 м в толщину, причем сцементированный карбонатами, реже – сульфидами и битумоидами песчаник в них образует самые причудливые формы (рис. 6, Г, 2, 9–10).

Не менее причудливы так называемые «горизонты с включениями», впервые для Предкавказья описанные в работе В.Е. Руженцева [54]. В этом случае песчаные пласты, образуя дайки и глыбы, распадаются на сложные песчаные тела и представляют самые сложные формы пластических деформаций (рис. 6, А, Б, В). В некоторых случаях в деформированных песках возникают гроздевидные скопления мелких конкреций, куколки, трубоподобные конкреции и тела, напоминающие стенки музыкальных органов.

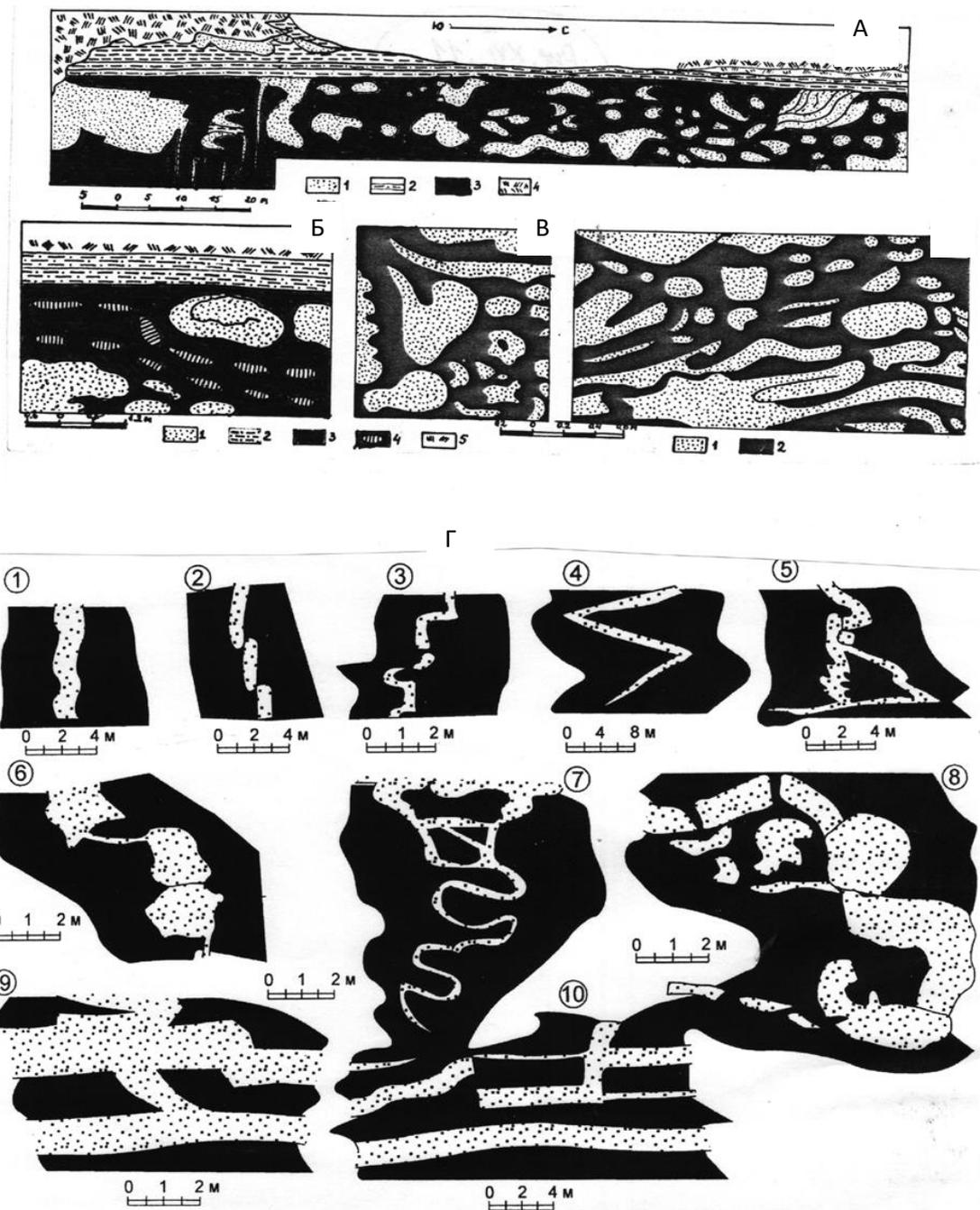


Рис. 6. «Горизонты с включениями» (А, Б, В) и кластические дайки Восточного Предкавказья (Г):
 А – общий вид «горизонта с включениями» (р. Ярвек-Су): 1 – песчаники, 2 – мергели, 3 – перемятая глина, 4 – почвы;
 Б – фрагмент, характеризующий поведение диагенетических конкреций: 1 – песчаники, 2 – чередование мергелей и глин, 3 – глины, 4 – карбонатные конкреции, 5 – современные почвы;
 В – фрагменты отложений, подтверждающие пластичность песчаных плавунцов;
 Г – морфологические особенности песчаных кластических даек Восточного Предкавказья: 1 – вертикальная дайка, 2 – коленчатая дайка, 3, 4 – зетобразные дайки, 5 – треугольная дайка, 6, 8 – глыбовые дайки, 7 – змеевидная дайка, 9, 10 – дайки-просечки

Все эти причудливые формы широко распространены в песчано-глинистых толщах Предкавказья, Азербайджана и особенно Западной Туркмении.

Медленное и весьма беспокойное перераспределение флюидов СВД в глинистых толщах часто завершается их концентрацией в корневой части вертикальных разломов, там, где существенно повышена трещиноватость глин. Возникают все условия для образования действующих грязевых вулканов (рис. 7).

Сечение грязевого вулкана, типичного для многих районов Азербайджана, Туркмении и Керченско-Таманского полуострова, приводится на рис. 7.

Очевидно, что в строении вулкана четко выделяется находящийся на поверхности конус, сложенный пластами грязебрекчий (продуктов прошлых извержений), кратер, осложненный многочисленными сальзами – подобиями крупных вулканических построек, поставляющими на дневную поверхность воду и газы.

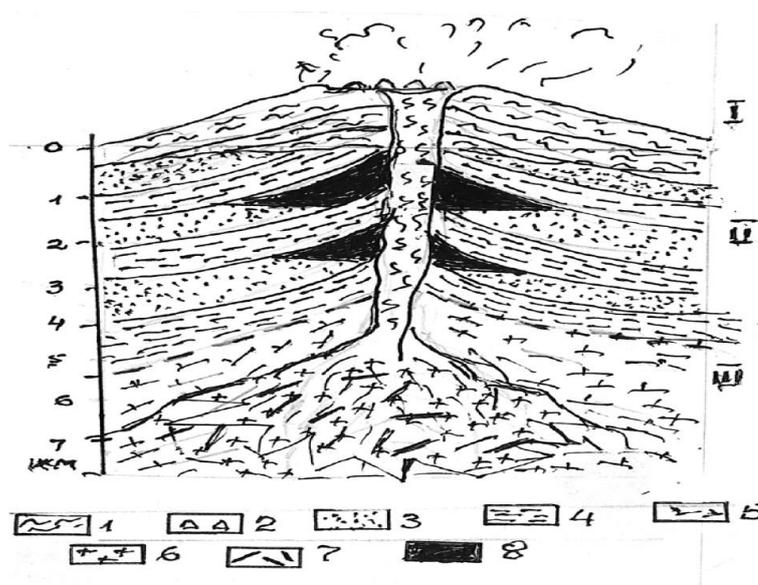


Рис. 7. Схема строения типичного грязевого вулкана Туркмении и Керченско-Таманского полуострова. Римскими цифрами отмечены предполагаемые зоны флюидогенеза, пунктиром – их границы: I – зона активного флюидогенеза (инфильтрации); II – зона сравнительного активного флюидогенеза (элизионные процессы); III – зона затрудненного флюидообмена (кливажа и сланцеватости глин). 1 – грязебрекчии; 2 – сальзы, между извержениями поставляющие в кратер воду и газообразные углеводороды; 3 – песчаники; 4 – пористые глины; 5 – уплотненные и сланцеватые глины; 6 – разжиженные глины и пески; 7 – грязебрекчии; 8 – залежи углеводородов (нефти и газов)

В разрезе всего сооружения выделяется кратерный канал, обычно расположенный на пересечении двух крупных вертикальных тектонических разломов, и диапировая антиклинальная складка, осложняющая строение геологического разреза.

Особый интерес представляет коренная часть жерла вулкана; она находится обычно в зоне затрудненного флюидообмена – там, где вертикальные тектонические разломы и оперяющие их трещины и смещения пересекают сланцеватость и кливаж сильно уплотненных глин. В это пересечение медленно и скачкообразно перемещаются области сверхвысоких давлений флюидов (вода, нефть, газ) и их концентрация обеспечивает разжижение глин. Как на это указывал еще Н.С. Шатский в докладах 1933–1934 гг. [55], в этих корневых частях грязевых вулканов глины размельчаются в результате тектонической деформации, разбухают и деформируются под действием воды, паров и газов, подвергаются тиксотропным явлениям вследствие сейсмичности района и превращаются в ту пластическую грязебрекцию, которая впоследствии выбрасывается на поверхность.

С течением времени величина сверхвысокого давления в корневой системе, заполненной грязебрекциями, растет и в конце концов оно выбивает «пробку», перекрывающую канал кратера, и происходит выброс потоков грязебрекций (по дороге захватывающих обломки и глыбы вмещающих пород), воды, нефти и газа. Особую роль при извержениях играют углеводородные газы. В определенных соотношениях с воздухом CH_4 (метан) легко образует взрывчатую смесь, взрывается и горит.

В целом извержение грязевого вулкана представляет собой акт грандиозной фазовой дифференциации флюидов СВД и грязебрекций. Последние образуют грязевулканическую постройку над кратером, жидкая нефть накапливается в ловушках песчаников и в лужах кратера (Мишов-Даг, Локбатан в Азербайджане), а газ в огромном количестве уходит в атмосферу. Согласно подсчетам А.Я. Якубова и А.Д. Алиева [56] 200 грязевых вулканов Азербайджана за все время извержений выделили в атмосферу 100–111 млрд м^3 углеводородного газа.

Литература

1. *Холодов В.Н.* Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах (на примере Восточного Предкавказья). М.: Наука, 1983. 149 с.
2. *Холодов В.Н.* Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
3. *Холодов В.Н.* Термобарические обстановки глубин осадочных породных бассейнов и их термодинамика. Сообщение I. Зональное строение стратисферы и условия образования аномально высоких (АВПД) и сверхвысоких давлений флюидов // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 6. С. 25–41.

4. *Холодов В.Н., Лисицын А.К., Комарова Г.В., Кондратьева И.К.* Об эпигенетической зональности уранового оруденения в нефтеносных карбонатных породах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 11. С. 80–93.
5. *Холодов В.Н., Недумов Р.И.* Зона катагенетической гидрослюдизации глин – арена интенсивного перераспределения химических элементов. Сообщение 1. Геологолитологические особенности и механизм образования элизионных систем Восточного Предкавказья // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 6. С. 563–582.
6. *Холодов В.Н., Недумов Р.И.* Зона катагенетической гидрослюдизации глин – арена интенсивного перераспределения химических элементов. Сообщение 2. Минералого-геохимические особенности зоны катагенетической гидрослюдизации // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 6. С. 582–610.
7. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. II. 574 с.
8. *Powers M.C.* Adjustment of clays to chemical change and the concept of equivalence level // Clays and Clay Minerals: Proc. 6th Nat. Conf. New York: Pergamon Press, 1957. Vol. 6. P. 309–326.
9. *Powers M.C.* Fluid–release mechanism in compacting marine mudrocks and their importance in oil exportation // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1967. Vol. 51. P. 1240–1254.
10. *Вассоевич Н.Б., Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Карнюшина Е.Е.* Роль глин в нефтеобразовании // Советская геология. 1975. № 3. С. 15–28.
11. *Ронов А.Б.* Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 1993. 144 с.
12. *Trask P.D.* Origin and environments of source sediments of petroleum. Houston, Texas: Gulf Publ., 1932. 323 p.
13. *Trask P.D., Patnode H.W.* Source beds of petroleum. Tulsa, Oklahoma: AAPG Publ., 1942. 566 p.
14. *Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М., Разживина А.Н., Ратеев М.А., Сапожников Д.Г., Шишова Е.С.* Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 792 с.
15. *Гершанович Д.Г., Горшкова Т.И., Конюхов А.И.* Органическое вещество современных осадков подводных окраин материков // Органическое вещество современных и ископаемых осадков и методы их изучения. М.: Наука, 1974. С. 63–80.

16. *Романкевич Е.А.* Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 262 с.
17. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря. Киев: Наукова Думка, 1982. 144 с.
18. *Погребицкий Е.Д.* История Донецкого бассейна как один из факторов метаморфизма углей // Труды XVII сессии Междунар. Конгресса. М.: ГОНТИ, 1959. С. 69–89.
19. *Тайхмюллер М., Тайхмюллер Р.* Катагенез угля (углефикация) // Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971. С. 353–378.
20. *Амосов Н.И., Горшков В.И.* Палеотемпературы нефтеносных пород // Проблемы диагностики условий зон нефтеобразования. М.: Изд-во ИГИРИ, 1971. С. 19–30.
21. *Неручев С.Г., Трофимук А.А., Рогозина Е.А.* Основные этапы и количественная сторона генерации и миграции углеводородов из материнских пород // Генерация углеводородов в процессе литогенеза осадков. Новосибирск: Наука, 1976. Вып. 130. С. 28–92.
22. *Вассоевич Н.Б.* Опыт построения типовой кривой гравитационного уплотнения глинистых осадков // Новости нефтяной техники (Геология). 1960. № 4. С. 11–15.
23. *Киссин И.Г., Пахомов С.И.* О возможности генерации углекислоты в недрах при умеренных температурах // Докл. АН СССР. 1967. Т. 174, № 2. С. 451–454.
24. *Киссин И.Г., Пахомов С.И.* К геохимии углекислоты в глубоких зонах подземной гидросферы // Геохимия. 1969. № 4. С. 460–472.
25. *Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре (геофизические и тектонические аспекты). М.: Наука, 2015. 328 с.
26. *Дриц В.А., Коссовская А.Г.* Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 212 с.
27. *Bürst J.F.* Diagenesis of Gulf Coast clay and sediments and its possible relation to petroleum migration // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1969. Vol. 53, No. 1. P. 16–48.
28. *Perry E.A., Hower J.* Late-stage dehydration in deeply buried pelitic sediments // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1972. Vol. 55, No. 10. P. 2013–2022.

29. *Magara K.* Compaction and migration of fluid in Miocene mudstones, Nagaoka plain, Japan // AAPG. Bull., 1968. Vol. 52, No. 12. P. 2466–2501.
30. *Rieke H.H., Chilingarian G.V.* Compaction of argillaceous sediments. Amsterdam-London-New York: Elsevier. 1974. 424 p.
31. *Личков Б.Л.* Изучение подземных вод в связи с задачами Единой гидрометеорологической службы // Изв. Гос. Метеорол. Общества. 1931. № 3. С. 15–42.
32. *Личков Б.Л.* Природные воды Земли и литосфера. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1968. 215 с.
33. *Макаренко Ф.А.* Некоторые результаты изучения подземного стока // Тр. Лаборатории Гидрогеологических проблем ГИН АН СССР. 1948. № 1. С. 24–67.
34. *Макаренко Ф.А.* Вода под Землей // Круговорот воды. М.: Знание, 1966. С. 86–95.
35. *Зверев В.П., Ильин В.А., Кононов В.И., Макаренко Ф.Н.* Особенности миграции подземных вод и их круговорот // Миграция химических элементов в подземных водах. М.: Наука, 1974. С. 15–32.
36. *Карцев А.А., Вагин С.Б., Басков Е.А.* Палеогидрогеология. М.: Недра, 1969. 150 с.
37. *Карцев А.А., Вагин С.Б., Матусевич С.И.* Гидрогеология нефтяных бассейнов. М.: Недра, 1986. 224 с.
38. *Гинзбург И.И.* Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала. Ч. 2 Геохимия и геология древней коры выветривания на Урале. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 133 с. (Тр. ИГН, вып. 81).
39. *Лисицина Н.А.* Вынос химических элементов при выветривании основных пород. М.: Наука, 1973. 322 с.
40. *Шмариович Е.М.* К вопросу о рудоконтролирующей зональности на урановых месторождениях в карбонатных породах // Литология и полезные ископаемые. 1971. № 10. С. 109–116.
41. *Шмариович Е.М., Машковцев Г.А., Рослый А.И.* Два класса руд и рудоконтролирующей зональности из эпигенетических месторождений урана // Советская геология. 1974. С. 56–68.
42. *Weaver C.E.* Geological interpretation of argillaceous sediments // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1958. Vol. 42. P. 272–309.

43. *Вассоевич Н.Б.* Условия образования нефти и нефтематеринские толщи в мезокайнозой Северо-Восточного Кавказа // Авторефераты научн. тр. ВНИГРИ. Л.: ВНИГРИ, 1962. Вып. 18. С. 28–32.
44. *Breeze A.F.* Abnormal-subnormal relationships in the Morrow sands of northwestern Oklahoma // M.S. Thesis, Univ. of Oklahoma. Tulsa, Oklahoma. 1970. P. 122.
45. *Ferran J.M.* Evolution of abnormally high and low pressured Morrow sands in northwestern Oklahoma using well logs and water sample data // M.S. Thesis, Univ. of Tulsa. Tulsa, Oklahoma. 1973. P. 110.
46. *Ferte W.H.* Abnormal formation pressure: implication to exploration, drilling, and production of oil and gas resources // New York: Elsevier, 1976. P. 388.
47. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сиверс Р.* Пески, песчаники. М.: Наука, 1976. 634 с.
48. *Van Engelhart W., Gaida K.M.* Concentration changes of pore solutions during the compaction of clay sediments // *Sedimentary Petrol.* 1963. Vol. 33, No. 4. P. 919–930.
49. *Григорьянц Б.В.* Новый аспект решения проблемы сейсмичности // *Физика Земли.* 1994. № 4. С. 88–96.
50. *Григорьянц Б.В.* Сейсмогенный разрыв или сейсмогенный слой? // *Природа.* 1995. № 11. С. 30–35.
51. *Леворсен А.* Геология нефти и газа. М.: Мир, 1969. 640 с.
52. *Крейчи-Граф К.* Основные вопросы нефтяной геологии. Л.-М.-Грозный-Новосибирск: ОНТИ НКТП, 1934. 262 с.
53. *Рассел У.Л.* Основы нефтяной геологии. Л.: ГНТП, 1958. 620 с.
54. *Руженцев В.Е.* Бенойско-Датыхский нефтеносный район // *Труды НГРИ.* Л., 1932. Сер. А. Вып. 7. 76 с.
55. *Шатский Н.С.* Грязевые вулканы Азербайджана и происхождение глинистых брекчий // *Избранные труды. Т. III. Геохимические формации и осадочные полезные ископаемые.* М.: Наука, 1965. С. 321–336.
56. *Якубов А.А., Алиев А.Д.* Геохимические особенности продуктов деятельности грязевых вулканов // *Геохимия: Докл. VIII Междунар. конгресса.* М., 1977. С. 42–44.

The problem of oil and gas generation in stratisphere

V.N. Kholodov

Geological Institute RAS

e-mail: korneva47@yandex.ru

Abstract. In the top part of oil and gas clay formations of sedimentary basins (2,5–3,0 km) alteration of clays pores leads to elision movements of fluids and forms anomalously high and anomalously low fluid pressures. In the lower parts of sedimentary basins clay formations are pressed forming closed system. In this zone the phase transformation of water and organic matters forms super high fluid pressure. Slow movements of super high fluid pressures of cracker lead to appearance of sandy dikes, «horizons with enclaves», mud volcanos and seismic waves.

Keywords: sedimentary basins, stratisphere, kerogenes, vibes, elision processes, oil generation.

Citation: *Kholodov V.N.* The problem of oil generation in stratisphere // Actual Problems of Oil and Gas. 2019. Iss. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art1> (In Russ.).

References

1. *Kholodov V.N.* Post-sedimentary transformations of clay sequences in elision basins (Eastern Fore-Caucasus). Moscow: Nauka, 1983. 149 p. (In Russ.).
2. *Kholodov V.N.* Geochemistry of sedimentary process. Moscow: GEOS, 2006. 608 p. (In Russ.).
3. *Kholodov V.N.* Thermobaric depth settings of sedimentary rock basins and their fluid dynamics: Communication 1. Zonation of the stratispheric structure and constraints of anomalous high and superhigh fluid pressures // *Lithology and Mineral Resources*. 2018. Vol. 53. No. 6. P. 489–506.
4. *Kholodov V.N., Lisitsyn A.K., Komarova G.V., Kondratieva I.K.* On the epigenetic zoning of the uranium mineralization in oil-bearing carbonate rocks // *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. geol.* 1961. No. 11. P. 80–93.
5. *Kholodov V.N., Nedumov R.I.* Zone of catagenetic hydromicatization of clays – an area of intense redistribution of chemical elements: Communication 1. Geological–lithological features and formation mechanism of elision systems in the Ciscaucasian Region // *Lithology and Mineral Resources*. 2001. Vol. 36. No. 6. P. 493–510.
6. *Kholodov V.N., Nedumov R.I.* Zone of catagenetic hydromicatization of clays – an area of intense redistribution of chemical elements: Communication 2. Mineralogical–geochemical peculiarities of the zone of catagenetic illitization // *Lithology and Mineral Resources*. 2001. V. 36. No. 6. P. 511–536.

7. *Strakhov M.N.* Principles of lithogenesis. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ. 1960. Vol. II. 574 p (In Russ.).
8. *Powers M.C.* Adjustment of clays to chemical change and the concept of equivalence level // *Clays and Clay Minerals: Proceedings of the 6th National Conference.* New York: Pergamon Press, 1957. Vol. 6. P. 309–326.
9. *Powers M.C.* Fluid–release mechanism in compacting marine mudrocks and their importance in oil exportation // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1967. Vol. 51. P. 1240–1254.
10. *Vassoevitch N.B., Burlin Yu.K., Konjukhov A.I., Karnjushina E.E.* The role of clays in oil formation // *Soviet Geology.* 1975. No. 3. P. 15–28. (In Russ.).
11. *Ronov A.B.* Stratishere or sedimentary cover of the Earth (a quantitative research). Moscow: Nauka, 1993, 144 p. (In Russ.).
12. *Trask P.D.* Origin and environment of source sediments of petroleum. Houston, Texas: Gulf Publ., 1932. 323 p.
13. *Trask P.D., Patnode H.W.* Source beds of petroleum. Tulsa, Oklahoma: AAPG Publ., 1942. 566 p.
14. *Strakhov N.M., Brodskaya N.G., Knyazeva L.M., Razzhivina A.N., Rateev M.A., Sapozhnikov D.G., Shishova E.S.* Formation of sediments in recent basins. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1954 792 p.
15. *Gershanovich D.G., Gorshkova T.I., Koniukhov A.I.* Organic matter in recent sediments of continental margins // *Organic matter in recent and fossil sediments and methods of its investigation.* Moscow: Nauka, 1974. P. 63–80. (In Russ.).
16. *Romankevich E.A.* Geochemistry of organic matter in the ocean. Moscow: Nauka, 1977 p. (In Russ.).
17. *Mitropolsky A.Yu., Bezborodov A.A., Ovsyanniy E.I.* Geochemistry of the Black Sea. Kiev: Naukova Dumka, 1982. 144 p. (In Russ.).
18. *Pogrebitsky E.D.* History of Donets basin as one of the factors of coal metamorphism // *Proceedings of the 17th session of the International Congress.* Moscow: GONTI, 1959. P. 69–89. (In Russ.).
19. *Teichmüller M., Teichmüller R.* Diagenesis of coal (coalification) // *Diagenesis in sediments* / Ed. G. Larsen. G. Chilingar. Amsterdam-London-New York: Elsevier, 1967. P. 391–315. (Russ. transl.: Moscow: Mir, 1971. P. 353–378.).

20. *Amosov N.I., Gorshkov V.I.* Paleotemperatures of oil-bearing rocks // Problems of the diagnostics of oil formation conditions and zones. Moscow: IGIRI, 1971. P. 19–30. (In Russ.).
21. *Neruchev S.G., Trofimuk A.A., Rogozina E.A.* Main stages and quantitative of hydrocarbon migration from mother rocks // Hydrocarbon generation in the process of sedimentary lithogenesis. Novosibirsk: Nauka, 1976. Vol. 130. P. 28–92. (In Russ.).
22. *Vassoevich N.B.* An essay of constructing a gravity compaction curve for clay sediments // *Novosti Neftyanoy Tekhniki (Ser. Geol.)*. 1960. No. 4. P. 11–15. (In Russ.).
23. *Kissin I.G., Pakhomov S.I.* The possibility of carbon dioxide generation at depth at moderately low temperature // *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. 1967. Vol. 174. (In Russ.).
24. *Kissin I.G., Pakhomov S.I.* A contribution to the geochemistry of carbon dioxide in deep zones of underground hydrosphere // *Geokhimiya*. 1969. No. 4, 450–471. (In Russ.).
25. *Kissin I.G.* Fluids in the Earth's crust (geophysical and tectonic aspects). Moscow: Nauka, 2015. 328 p.
26. *Drits V.A., Kossovskaya A.G.* Clay minerals: smectites, mixed lattice formations. Moscow: Nauka, 1990. 212 p.
27. *Bürst J.F.* Diagenesis of Cult Coast clay and sediments and its possible relation to petroleum migration // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1969. Vol. 53, No. 1. P. 16–48.
28. *Perry E.A., Hower J.* Late-stage dehydration in deeply buried pelitic sediments // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1972. Vol. 55, No. 10. P. 2013–2022.
29. *Magara K.* Compaction and migration of fluid in Miocene mudstones, Nagaoka plain, Japan // *AAPG. Bull.*, 1968. Vol. 52, No. 12. P. 2466–2501.
30. *Rieke H.H., Chilingarian G.V.* Compaction of argillaceous sediments. Amsterdam-London-New York: Elsevier. 1974. 424 p.
31. *Lichkov B.L.* Studying subsurface waters for the purposes of the United Hydrometeorological Agency // *Izv. Gos. Meteorol. Obshchestva* 1931. No. 3. P. 15–42. (In Russ.)
32. *Lichkov B.L.* Natural waters of the Earth and the lithosphere. Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ., 1968. 215 c. (In Russ.).
33. *Makarenko F.A.* Results of the study of the underground run-off // *Proceedings of Hydrogeological Problems Laboratory of GIN*. 1948. Vol. 1. P. 24–67. (In Russ.).
34. *Makarenko F.A.* Water under the Earth surface // *Water circulation*. Moscow: Znanie, 1966. P. 86–95. (In Russ.).

35. *Zverev V.P., Il'in V.A., Kononov V.I., Makarenko F.N.* Underground waters: features of migration and hydrological cycle // Migration of chemical elements in underground waters. Moscow: Nauka, 1974. P. 15–32. (In Russ.).
36. *Kartsev A.A., Vagin S.B., Baskov E.A.* Paleohydrogeology. Moscow: Nedra, 1969. 150 p. (In Russ.).
37. *Kartsev A.A., Vagin S.B., Matusевич S.I.* Hydrogeology of oil and gas bearing basins. Moscow: Nedra, 1986. 224 p. (In Russ.).
38. *Ginzburg I.I.* Ancient weathering mantle on ultramafic rocks of the Ural. Part 2. Geochemistry and geology of ancient weathering mantle of the Ural. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1947. 133 p. (Proceedings of GIN, vol. 81). (In Russ.).
39. *Lisitsina N.A.* Removal of chemical elements at the weathering of basic rocks. Moscow: Nauka, 1973. 322 p. (In Russ.).
40. *Shmariovich E.M.* Ore-controlling epigenetic zoning at uranium deposits hosted in carbonate rocks // *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 1971. No. 10. P. 109–116. (In Russ.).
41. *Shmariovich E.M., Mashkovtsev G.A., Roslyi A.I.* Two types of ores and ore controlling bedding zoning at the epigenetic uranium deposit // *Sovetskaya geoloiya*. 1974. P. 56–68. (In Russ.).
42. *Weaver C.E.* Geological interpretation of argillaceous sediments // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1958. Vol. 42. P. 272–309.
43. *Vassoevich N.B.* Conditions of oil formation and oil-source Mesozoic-Cenozoic strata of the Northeastern Caucasus // *Synopses of VNIGRI Proceedings*. Leningrad: VNIGRI 1962. Vol. 18. P. 28–32. (In Russ.).
44. *Breeze A.F.* Abnormal-subnormal relationships in the Morrow sands of northwestern Oklahoma // M.S. Thesis, Univ. of Oklahoma. Tulsa, Oklahoma. 1970. P. 122.
45. *Ferran J.M.* Evolution of abnormally high and low pressured Morrow sands in northwestern Oklahoma using well logs and water sample data // M.S. Thesis, Univ. of Tulsa. Tulsa, Oklahoma. 1973. P. 110.
46. *Ferte W.H.* Abnormal formation pressure: Implication to Exploration, Drilling, and Production of Oil and Gas Resources // New York: Elsevier, 1976. P. 388.
47. *Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.* Sand and sandstone. New York: Springer, 1976. 552 p. (Russ. transl.: Moscow: Nauka, 1976. 634 p.).

48. *Van Engelhart W., Gaida K.M.* Concentration changes of pore solutions during the compaction of clay sediments // *Sedimentary Petrol.* 1963. Vol. 33, No. 4. P. 919–930.
49. *Grigoriants B.V.* A new aspect of unraveling the problem of seismicity // *Physics of the Solid Earth.* 1994. Vol. 30. No. 4. P. 369–376.
50. *Grigoriants B.V.* Seismogenic fissure or seismogenic stratum? // *Priroda.* 1995. No. 11. P. 30–35. (In Russ.).
51. *Levorsen A.I.* Geology of petroleum. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1954. 703 p. (Russ. transl.: Moscow: Mir 1969, 640 p.).
52. *Krejci-Graf K.* Grundfragen der Ölgeologie. Stuttgart, 1930. 182 p. (Russ. transl.: Moscow-Leningrad-Grozny-Novosibirsk, 1934. 262 p.).
53. *Russel W.L.* Principles of Petroleum Geology. New York, 1951. 510 p. (Russ. transl.: Leningrad, 1958. 620 p.).
54. *Ruzhentsev V.E.* The Benoi-Datykh Oil-Bearing Region // *Proceedings of NGRI.* Leningrad, 1932. Ser. A. Vol. 7. 76 p. (In Russ.).
55. *Shatsky N.S.* Mud volcanoes of Azerbaijan and genesis of breccias // *Selected works.* Vol. III. Geochemical formations and sedimentaries. Moscow: Nauka, 1965. P. 321–336. (In Russ.).
56. *Yakubov A.A., Aliev A.D.* Geochemical features of mud volcano products // *Geochemistry: Proceedings of the 8th International Congress.* Moscow, 1977. P. 42–44. (In Russ.).