

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЕМКостей С АНОМАЛЬНО НИЗКИМИ ПЛАСТОВЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ В ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНАХ СЕВЕРА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В.Е. Глов, Л.П. Глотова
Северо-Восточный комплексный НИИ Дальневосточного отделения РАН, Магадан
e-mail: geoecol@neisri.ru; glotova@neisri.ru

В осадочных бассейнах (ОБ) севера Дальнего Востока выявлены изолированные емкости с аномально низкими пластовыми давлениями. По генетическим особенностям они отнесены к приповерхностным и глубинным. Первые образовались в процессе становления и развития криолитозоны, вторые – при накоплении осадочного чехла глубоких ОБ. В аккумуляции флюидов ведущую роль играют солнечно-лунные приливы в земной коре. Высказано мнение о роли таких емкостей в формировании нефтегазоносности ОБ и возможном использовании их для хранения опасных жидких отходов.

Ключевые слова: осадочный бассейн, пластовое давление, гидравлически изолированный объект, солнечно-лунные приливы, подземные воды, нефть, газ.

Общие положения. В широко известном фундаментальном труде «Геология нефти и газа» А. Леворсен [19], отмечая общую закономерность возрастания пластового давления с глубиной в проницаемых отложениях, обратил внимание на то, что «иногда пластовые давления в одной и той же скважине оказываются более низкими в глубоких горизонтах, чем в вышележащих породах» (с. 389). Данный факт он объяснил «влиянием водоносных пластов, расположенных выше или ниже изучаемого горизонта и имеющих более высокие или низкие потенциметрические поверхности, чем этот горизонт» (там же). В этом случае «аномальные» пластовые давления являются нормальными (рис. 1, см. Приложение). С тем чтобы не рассматривать подобные случаи, мы будем называть *аномально низким такое давление (АНПД), которое ниже давления, оказываемого столбом воды с плотностью 1 г/см^3 высотой от глубины вскрытия пласта (объекта, емкости) до отметки базиса эрозии на изучаемой территории.* Это определение отличается от ставшего традиционным, в котором сравниваемый воображаемый столб воды имеет высоту, равную всей глубине вскрытия пласта в точке замера [18].

Внимание исследователей к данной проблеме вызвано возможной связью подземных емкостей с АНПД с поисками и эксплуатацией месторождений углеводородов, надежным захоронением особо опасных отходов в земных недрах,

созданием и эксплуатацией подземных хранилищ разнообразных флюидов. Данные направления деятельности людей актуальны и для территории севера Дальнего Востока, включающего северо-восток РФ и п-ов Камчатка. Здесь с середины 60-х гг. XX столетия ведутся достаточно успешные нефтегазопроисследовательские работы, добываются благородные металлы с применением токсичных компонентов, работает АЭС и планируется введение в строй новых электростанций. Поэтому изучение особенностей формирования и распространения подземных емкостей с АНПД представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Материалы для исследования получены при бурении и опробовании нефтегазопроисследовательских скважин глубиной до 3500 м и относительно неглубоких (до 600 м) скважин при геологоразведочных, гидрогеологических и картировочных работах. Результаты этих исследований изложены частично в рукописных отчетах, хранящихся в фондах геологической информации субъектов РФ, частично – в опубликованных трудах.

Постановка проблемы. Анализ массива накопленных данных об объектах с АНПД, распространенных в ОБ (рис. 2, см. Приложение), показал, что они относятся к двум группам:

- приповерхностным, пространственно связанным с толщей осадочных многолетнемерзлых пород (ММП) кайнозойского или мезозойского возраста, имеющих различную степень катагенетической преобразованности – от диагенеза до начала мезокатагенеза;

- глубинным, связанным с толщей осадочных пород мезо-кайнозойского возраста, достигших уровня катагенетической преобразованности – от среднего мезокатагенеза (МК₃) до апокатагенеза (АК).

Приповерхностные объекты с АНПД по отношению к толще ММП отнесены нами к подмерзлотным, внутримерзлотным и надмерзлотным.

Подмерзлотные описаны ранее [8, 9, 13]. Глубина их распространения составляет 100–300 м. Испытанные объекты водоносны, возраст водовмещающих пород неогеновый и палеогеновый (Казачкинская впадина Анадырского ОБ), верхне- и нижнемеловой (Аркагалинский и Индигиро-Зырянский ОБ). Водоупорной кровлей являются те же породы, но в мерзлом состоянии; подстилающий водоупор – глины или аргиллиты. В ОБ, открытых в море (Анадырский, Гижигинский), подземные воды хлоридные кальциево-магниево-натриевые или натриевые с минерализацией от 26 до 92 г/дм³. Температура вод

-1,5–0 °С; статические уровни, приведенные к плотности морской воды, на 2–23 м ниже современного морского (табл. 1).

Таблица 1

Данные о приповерхностных емкостях с АНПД (сокращенный вариант)
[10, 13, 22]

Осадочный бассейн, район	Интервал залегания емкости, м; возраст и состав вмещающих пород	Приведенные статические уровни	Химический состав подземных вод
1	2	3	4
Подмерзлотные емкости			
Анадырский ОБ, Казачкинская впадина	99,3–112,8; P _{g3} ; угленосные отложения – аргиллиты, песчаники, алевролиты	-9,2 м относительно уровня моря	M ₈₀ $\frac{Cl_{99}}{(Na + K)66Mg18Ca16}$ pH – 7
Там же	111,5–125; P _{g3} ; угленосные отложения – аргиллиты, песчаники, алевролиты	-10,35 м относительно уровня моря	M _{67,9} $\frac{Cl_{98}}{(Na + K)69Mg21Ca10}$ pH – 6,8
Там же	187,6–194,6; P _{g3} ; угленосные отложения – аргиллиты, песчаники, алевролиты	-5,65 м относительно уровня моря	M _{95,2} $\frac{Cl_{98}}{(Na + K)64Mg248Ca12}$ pH – 7,2
Аркагалинский ОБ, Верхне-Аркагалинская впадина	170-182; K ₂ ; угленосные отложения – аргиллиты, песчаники	-130 м относительно уровня дна русла р. Аркагала (бассейн р. Колымы)	M _{1,3} $\frac{HCO_3 98}{(Na + K)98}$ pH – 6,8
Индигино-Зырянский ОБ, участок Эрозионный	110-208; K ₁ ; угленосные отложения – аргиллиты, песчаники, угли	-80 м относительно уровня дна русла р. Зырянка	M _{3,6} $\frac{(HCO_3 + CO_3)91}{(Na + K)98}$ pH – 7,8
Внутримерзлотные емкости			
Лонго-Чукотский ОБ, Рывеевская приморская низменность	44–64; N ₂ –Q. Песок тонкозернистый, в подошве – суглинки с галькой и гравием	-33,5 м относительно современного уровня моря	M ₁₃₀ $\frac{Cl_{65}SO_4 35}{(Na + K)84Mg14}$ pH – 7,6; T = -8 °С
Надмерзлотные емкости			
Новосибирский ОБ, пролив Лаптева	43,2–53,2 м глубже дна пролива; P _{g3} –N ₁ . Песок гравелистый глинистый; водоупорная кровля – супеси и суглинки, подошва – суглинки	-10,4 м относительно современного уровня моря	M _{1,1} $\frac{Cl_{96}}{(Na + K)52Mg31Ca17}$ pH – 8; T = +0,1 °С
Там же, побережье о-ва Бол. Ляховский	60–68 м от уровня моря; P _{g3} –N ₁ . Песок разномзернистый, водоупорная кровля – глина	-2 м относительно современного уровня моря	M _{10,9} $\frac{Cl_{97}}{(Na + K)84Mg10}$ T = -0,8 °С

1	2	3	4
Там же, пролив Санникова	16–25 м от дна моря; Q ₁ –Q ₃ . Песок пылеватый, водоупорная кровля – супеси и суглинки	0,0	$M19 \frac{Cl9SO_410}{(Na + K)77Mg18}$ pH – 7,6; T = -0,8 °C

Подмерзлотные емкости с аномально низкими давлениями обнаружены и во внутриконтинентальных ОБ. Например, при бурении скважины в Верхне-Аркагалинской впадине в верховьях р. Колымы на глубине 170 м под подошвой толщи ММП вскрыта изолированная емкость со свободной поверхностью подмерзлотных вод, находящаяся примерно на 130 м ниже отметки воды в русле р. Аркагала (приток р. Колымы), дренирующей эту впадину. Аналогичные емкости с АНПД отмечены при разведке месторождения угля в Индигиро-Зырянском ОБ. В пределах этого бассейна подмерзлотные воды имеют отметки статических уровней ниже местного базиса эрозии на 80–110 м [13].

Во внутриконтинентальных ОБ (Аркагалинский, Индигиро-Зырянский) подмерзлотные воды сульфатно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатные с минерализацией от 1,5 до 3,2 г/дм³. Температура вод около 0 °C.

Внутримерзлотные объекты с аномально низкими давлениями воды выявлены в наземных участках осадочного чехла Лонго-Чукотского ОБ на побережье Чукотского моря. Можно предполагать их наличие и на побережье Восточно-Сибирского моря. Эти объекты имеют линзовидную форму. Водовмещающими породами являются четвертичные морские пески, насыщенные иловатым материалом. В подошве этих линз во всех случаях залегает слой плотных тяжелых суглинков или глинистая кора выветривания складчатого основания. Перекрывающие отложения представлены мерзлыми алевритами, супесями, суглинками. Состав воды хлоридный, сульфатно-хлоридный магниевонатриевый, минерализация от 50,2 до 130 г/дм³, температура от -2 до -8 °C. По данным А.А. Архангелова и Л.А. Жихарева, на побережье лагуны Рыпильхин Чукотского моря в 1972–1974 гг. глубина залегания линз отрицательнотемпературных вод (криопэги) – от 12 до 64 м, статические уровни криопэгов, приведенные в плотности морской воды, – от 0 до -33,5 м.

К этой же подгруппе внутримерзлотных объектов следует отнести горизонты отрицательнотемпературных безводных сыпучих галечников («сушенцы»), подстилаемые

и перекрывающиеся мерзлыми глинами неоген-четвертичного возраста. Такие горизонты были встречены в Момантайском ОБ Г.И. Роциным и др. в 1969 г. при бурении сейсморазведочных картировочных скважин в бассейне верхнего течения р. Индигирки на абсолютных отметках 1100–1200 м. Мощность осадочного чехла позднекайнозойского возраста на участке работ – около 500 м, глубина залегания подошвы ММП 172–180 м. «Сушенцы» залегают в интервале глубин 70–115 м, их температура от -3 до -1,2 °С [10]. Подобные объекты возможны и в других приводораздельных ОБ в пределах сплошной криолитозоны.

Надмерзлотные объекты с АНПД выявлены при бурении скважин со льда Восточно-Сибирского моря на площади Новосибирского ОБ [22]. Они залегают на глубинах от 16,1 до 53,5 м от дна моря в олигоцен-миоценовых и нижне-верхнеплейстоценовых песках, обычно пылеватых. Перекрывающими водоупорными отложениями обычно являются глины и суглинки, подстилаемые теми же отложениями в мерзлом состоянии. Вскрытые воды хлоридные магниевые-натриевые с общей минерализацией от 1,1 до 10,9 г/дм³, статические уровни от 2 до 10,4 м ниже уровня моря. Примечательно, что глубже залегает водоносный горизонт с менее минерализованной водой. Температура воды повсеместно близка к 0° С.

Глубинные емкости с АНПД встречены в ОБ, перспективных на нефть и газ. Так, при изучении нефтегазоносности кайнозойских отложений на Поворотной площади Анадырского ОБ пробурена скважина № 25 (амплитуда устья 51,5 м). В интервале 1382–1737 м она вскрыла верхнеолигоценные полимиктовые глинистые песчаники, переслаивающиеся с алевролитами и аргиллитами. По результатам бурения и геофизических исследований в скважине были выделены для опробования интервалы пород, отличающихся повышенной трещиноватостью (объекты испытания после бурения). Вызов притока флюидов после перфорации производили сменой глинистого раствора на воду ($\gamma=1$ г/см³) и последующей аэрацией. При подготовке объекта испытания в интервалах 1618–1602 м и 1652–1632 м, включая промывку и заполнение скважины пресной водой до устья, замечено понижение ее уровня. Через 33 часа уровень установился на глубине 320 м, что соответствовало статическому уровню в 278,5 м ниже уровня моря.

В Хатырском ОБ глубоко залегающие емкости с АНПД вскрыты при бурении скважины на Ионайской площади, сложенной верхнеэоцен-олигоценными алевролитами,

переслаивающимися с аргиллитами. В этой толще при бурении скважины № 31 в своде локального поднятия вскрыты газоносные объекты в трещиноватых существенно глинистых породах. Газ сухой, содержание метана 94–96%об., гомологов менее 3%об. Дебиты газа из скважин не превышали 10 000 м³/сут. Максимальное пластовое давление при закрытом затрубном пространстве оказалось равным 26 атм при положении объекта исследования в интервале 2470–2476 м. Это давление почти в 10 раз меньше ожидаемого гидростатического. В объектах, залегающих на глубине свыше 2600 м, пластовое давление было еще меньше (6–7 атм).

В Восточно-Камчатском ОБ на Богачевской площади при опробовании трещиноватых олигоцен-плиоценовых пород в скважине Р-2 в интервале 1419–1370 м уровень был снижен до глубины 1051 м. Получен приток воды 325 л/сут. Статический уровень установился на глубине 647 м, примерно на 300 м ниже уровня моря. На этой же площади при бурении структурных скважин до глубины 500–550 м по профилям с расстоянием между скважинами в 500 м отмечено существенное различие в величине напора подземных вод в одновозрастных литологически однородных пластах одного и того же интервала. Скважинами вскрыты как высоконапорные подземные воды, так и безнапорные [4].

Изучение материалов бурения и испытания нефтегазопроисковых скважин по территории деятельности ПГО «Сахалингеология» показало, что проявления АНПД наблюдались и в Западно-Камчатском ОБ, в прогибе залива Анива и в Нышско-Тымском прогибе (о-в Сахалин). Наиболее представительные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные о глубинных емкостях АНПД в ОБ севера Дальнего Востока (сокращенный вариант) (по материалам Чукотской, Камчатской НГРЭ ПГО «Сахалингеология»)

Бассейн, площадь, номер скважины, дата опробования	Интервал опробования, м. Возраст	Пластовый флюид	Коэффициент аномальности ($P_{пл}/P_{усл.н}$)	Химический состав флюидов; газ – %об.
1	2	3	4	5
Анадырский ОБ, Поворотная, 25; II–III.1976 г.	1722–1717; 1712,5–1694. Аргиллиты, песчаники, алевролиты трещин. Pg ₃ mn	Газ	0,46	CH ₄ –88,9; C ₂ H ₆ –4,65; ΣТУ 2,26
Там же. V–VI.1976 г.	1652–1632,4; 1618,6–1602. Аргиллиты, песчаники, алевролиты трещин. Pg ₃ mn	Вода, газ	0,81	M8,2 $\frac{Cl97}{(Na + K)91}$
Анадырский ОБ, Профильная, 8. II.1978 г.	455–460; 464–471. Песчаники, углисто-аргиллитовые породы,	Вода, газ	0,3	M8 $\frac{CO_3 72Cl27}{(Na + K)65Ca23}$ H ₂ – 3,04; CO – 6,85;

	перематые. K ₂			CH ₄ –77,14; N ₂ – 12 CO ₂ – 0,19
Хатырский ОБ, Эльгинская, 31 VII.1977 г.	2476–2470; 2522–2514 Аргиллиты, алевролиты трещин. Pg ₃ in	Газ	0,11	CH ₄ – 95,7; C ₂ H ₆ –2,5 ΣТУ 0,8
Там же	2362–2361; 2354–2336; 2313–2302	Газ	0,26	CH ₄ – 96; C ₂ H ₆ – 2,7; ΣТУ 0,7
Восточно- Камчатский ОБ, Богачевская; 2 1950–1954 гг.	1419–1320. Аргиллиты, алевролиты, песчаники трещин сжатия. Pg ₃ – N ₁ ¹	Вода, газ, нефть	0,46	Нет сведений Собрана нефть – 1,5 т за 28 сут
Западно- Камчатский ОБ, Половинная, 1 III–V.1981 г.	2607–2625. Переслаивание туфоаргиллитов и туфопесчаников трещиноватых Pg ₃ gk	Вода	0,27	M8,6 $\frac{Cl91}{(Na + K)96}$
Там же, Тхуклукская, 3 1974 г.	2104–2094. Песчаники с прослоями алевролитов, трещиноватые. Pg ₃	Газ, дебит 3 м ³ /сут*	0,01	CH ₄ – 96,6; C ₂ H ₆ – 2,06; ΣТУ 3,4
Там же, Схикийская, 3 VI–VIII.1977 г.	1182–1054. Туфопесчаники, опоки трещиноватые. N ₁ ¹ kl	Вода	0,72	M9,5 $\frac{Cl82HCO_3 18}{(Na + K)98}$ J – 12,7; Br – 3,3; HBO ₂ – 90

*Примечание: на притоке стояли 40 суток, P_{пл.} – постоянное.

Следует заметить, что скважинами обычно вскрывали объекты не только с АНПД, но и с аномально-высоким (АВПД) и нормальным гидростатическим давлением. Так, например, в скважине на Половинной площади Западно-Камчатского ОБ отмечено АВПД с коэффициентом аномальности 1,3 в интервале 3480–3506 м. В интервале 2096–2110 м пластовое давление выше нормального на 38 атм. Наиболее высокие коэффициенты аномальности, равные 1,6–1,7, установлены в ОБ на о-ве Сахалин [14]. В Анадырском и Хатырском ОБ объекты с АВПД практически отсутствуют.

Для всех проявлений АНПД характерна приуроченность объектов испытаний к интервалам трещиноватых пород, достигших стадий катагенеза на уровне градаций МК₃–МК₅ и даже АК (Профильная площадь Анадырского ОБ). Состав флюидов в емкостях достаточно однороден. Это вода или метан с примесью гомологов, общая сумма которых не более 3–4%об. В виде примеси присутствуют азот, окись и двуокись углерода, водород. Вода в емкостях разных ОБ так же однородна по составу и величине минерализации, за исключением объекта на Профильной площади Анадырского ОБ.

Выявлен факт гидравлической изолированности опробованных емкостей, проявляющийся в том, что по мере отбора флюидов при длительных испытаниях

пластовые давления устойчиво понижались. Например, в скважине № 25 в Анадырском ОБ при испытании объекта в интервале 1652–1602 м за 13 сут пластовое давление понизилось на 7 атм. В объекте с АНПД на Профильной площади в том же ОБ за 3 сут пластовое давление уменьшилось на 0,8 атм.

В целом краткий обзор особенностей распространения локальных емкостей с аномально низкими давлениями в осадочном чехле ОБ показал, что приповерхностные, под-, внутри- и надмерзлотные объекты контролируются степенью прерывистости толщи ММП. Они встречены в криолитозоне сплошного распространения и отсутствуют в криолитозоне прерывистой и островной. При этом внутримерзлотные объекты, вскрытые на морских побережьях, имеют пластовые давления, величина которых соответствует амплитуде колебания уровня моря в позднем плейстоцене относительно современного. Примечательно, что во внутриконтинентальных ОБ в приводораздельных районах горизонты «сушенцов» отсутствуют в ОБ, залегающих ниже абсолютных отметок в 600–500 м. Их нет, например, в хорошо изученных Сеймчано-Буюндинском и Тасканском бассейнах. В свою очередь, надмерзлотные емкости с АНПД выявлены в отложениях, погрузившихся ниже уровня моря только в голоцене.

Распространение глубинных локальных емкостей контролируется исключительно эндогенными факторами, доминантным из которых является уровень катагенетической преобразованности. Эти особенности залегания позволяют выявить основные процессы возникновения аномально низких пластовых давлений.

Обсуждение проблемы формирования АНПД. Логично предполагать, что резкие различия в закономерностях залегания и распространения емкостей двух групп вызваны их разным происхождением. Для приповерхностных емкостей с АНПД таким генетическим фактором является процесс становления толщи ММП. Дело в том, что криолитозона, образовавшись около трех миллионов лет назад, испытывала во времени значительные преобразования всех своих параметров (степени прерывистости, мощности, площади распространения, температуры), вызываемые глобальными изменениями климата [6]. Эти изменения коррелировались с колебаниями уровня Мирового океана. Наиболее значительная морская трансгрессия была 100–110 тыс. лет назад, когда уровень моря поднимался на 20–25 м выше современного. На затопляемых площадях подземные воды осолонялись, достигая минерализации морской воды (около 35 г/дм³). При последующей регрессии, примерно 18–20 тыс. лет назад, уровень моря достиг отметок в

130–150 м ниже современного [24]. В это время среднегодовая температура воздуха была на 10 °С ниже современной при очень малом количестве осадков. Наступил период максимального промерзания литосферы, сопровождаемого региональной сработкой ресурсов подземных и поверхностных вод [8]. Во внутриконтинентальных ОБ скорость нарастания толщи ММП была меньшей, чем региональное падение уровня подземных вод. При этом водоносные горизонты во вмещающих породах с хорошими фильтрационными свойствами осушались быстрее, чем в породах с низкими фильтрационными свойствами. По этой причине «сушенцы» переслаиваются с мерзлыми льдистыми отложениями. Сохранившиеся скопления пресной воды при промерзании превращались в линзы льда. На морских побережьях региональная сработка уровня происходила медленнее, чем шло промерзание. Поэтому в подошве ММП возникало криогенное давление, вызывающее отжатие подмерзлотных вод. По нашим оценкам, на современных приморских площадях пластовые давления понижались на 60 атм. Сохранившиеся скопления соленой подземной воды в понижениях водоупорного ложа вымерзали. Минерализация жидкой фазы соответствовала минимальной температуре вымерзания. Поскольку при замерзании соленой воды в твердую фазу переходит химически чистая вода, то лед промерзших горизонтов при оттаивании переходит в пресную воду. Таким образом, при очередной трансгрессии и потеплении климата, начавшихся около 12 тыс. лет назад, под дном моря, наступающего на сушу, образуются надмерзлотные локальные емкости с пресной водой. Затрудненность фильтрации морской воды в недра способствует сохранению аномально низких давлений относительно современного уровня моря как в подмерзлотных, так и в надмерзлотных таликах. Во внутримерзлотных емкостях только при полном оттаивании толщи ММП давление флюидов восстановится до нормального гидростатического.

Приуроченность глубинных локальных емкостей с аномально низкими пластовыми давлениями к породам, катагенетически преобразованным на уровне среднего мезокатагенеза – апокатагенеза, отсутствие их связи с экзогенными процессами позволяют объяснить формирование АНПД закономерными катагенетическими преобразованиями в осадочном чехле на прогрессивном этапе становления этого чехла по мере возрастания глубины залегания и температуры пород.

Как показано в предшествующих работах [16, 9, 10], в вертикальном разрезе глубоких ОБ по мере увеличения катагенетической преобразованности пород в осадочной толще обособляются геогидродинамические зоны, различающиеся энергией флюидов,

характером гидрогазогеохимических процессов, гидрогеохимическими и гидродинамическими параметрами.

В верхней части осадочного чехла, преобразованного в грациях прото- и начала мезокатагенеза (ПК–МК₂–МК₃¹), обособляется геогидродинамическая система пластового типа. Она соответствует ранее выделенным инфильтрационной и элизионной системам [17]. Ее энергетический потенциал определяется перепадом приведенных напоров в областях питания подземных вод и их разгрузки. Эти напоры могут быть как гидро-, так и геостатическими. Определенный вклад в их создание вносят тепловые потоки. Отмечаются общее многообразие и большая роль экзогенных факторов в формировании подземных вод, разнообразие гидрогеохимических обстановок и зональное расположение гидродинамических показателей, присущих активному, затрудненному и весьма затрудненному водообмену.

Ниже по разрезу ОБ при достижении осадочными породами катагенетической преобразованности МК_{3м}–МК₅ и АК₁–АК₂ развивается постартезианская геогидродинамическая система. В результате вторичных процессов трансформируются структуры емкостного пространства, пластовый характер флюидоносности коллекторских толщ полностью утрачивается. Могут сохраниться замкнутые или частично открытые емкости со скоплениями УВ с унаследованными пластовыми давлениями. Однако специфику постартезианской системе придают новообразованные локальные трещинные емкости. Формированию их способствует преобразование монтмориллонита или каолинита в гидрослюды, что снижает устойчивость аргиллитов на разрыв и раздавливание. В тектонически напряженных участках гидрослюдизированные осадочные породы приобретают макро- и микротрещиноватость. Практически значимым становится процесс «расщепления» слоев аргиллитов, алевролитов, кремнисто-глинистых и кремнистых пород при тектонических подвижках. Образование локальных зон макротрещиноватости происходит в своде антиклиналей, в приразломных зонах на тектонически подвижных участках при сдвигах, раздвигах, проявлениях глинистого диапиризма.

Существенным признаком постартезианской геогидродинамической (флюидонапорной) системы, помимо развития частично или полностью литологически и тектонически изолированных емкостей, является широкая гамма пластовых давлений, от АВПД до АНПД. На начальной стадии образования емкости во флюидонепроницаемой

толще давление, видимо, менее 1 атм. Генерируемые при катагенетических процессах флюиды находятся в микротрещинах толщи флюидонепроницаемой породы под геостатическим давлением, поэтому разность давлений в новообразованной емкости и в окружающей толще весьма существенна. В таких условиях возникают флюидные потоки по градиенту давления в режиме флюидации или молекулярного массопереноса [3]. Поскольку новообразование локальных макротрещиноватости и микротрещиноватости в толще литифицированных отложений может охватывать всю постартезианскую систему, то ее энергетическое поле приобретает сфероидный облик, в формировании которого ведущую роль играет литостатическое и тектоническое давления. Соотношение геогидродинамических систем с зонами катагенеза осадочных пород и нефтегазообразования показано на рис. 3 (см. Приложение).

Гидродинамически изолированная флюидосодержащая емкость подвержена любым изменениям напряжения в земной коре, из числа которых периодическими являются приливно-отливные движения. Они отчетливо проявляются в Анадырском и Хатырском ОБ [11]. Приливно-отливные колебания уровня воды глубокозалегающих объектов отмечены фактически на всех континентах [21]. Поэтому есть все основания считать, что в породах, вмещающих локальную емкость с трещинным типом флюидопроницаемости, во всех ОБ при приливах микротрещины расширяются, поэтому градиент давления в системе порода – микротрещина резко возрастает, флюидационные перемещения флюидов из породы в микротрещины интенсифицируются. При отливах микротрещины сжимаются, вытесняя флюид в макротрещиноватый объект. Поэтому полусуточные приливы и отливы в земной коре можно уподобить насосу, перекачивающему жидкость из породы в локальную емкость. За счет этого процесса пластовое давление со временем будет расти от аномально низкого до аномально высокого. В данном варианте вполне обосновано предложение В.М. Матусевича считать АНПД догидростатическими, АВПД – сверхгидростатическими [20].

Можно предположить, что скорость увеличения пластового давления в данном случае будет являться функцией возраста емкости, флюидонасыщенности вмещающих пород, амплитуды приливно-отливных движений. Последние возрастают от высоких (северных) широт к низким (южным), поэтому в ОБ на низких широтах в одновозрастных отложениях примерно сходного состава емкости с АВПД распространены более широко. При этом коэффициент аномальности в них больше, чем в ОБ высоких широт. Например,

в палеоген-неогеновых терригенных породах Мексиканского залива на широте от 20 до 30° с.ш. коэффициент аномальности достигает 7,3 [19], в Южно-Сахалинском ОБ (примерно 47° с.ш.) он не превышает 2, в Северо-Сахалинском – 1,7 и менее, в Анадырском (примерно 63–65° с.ш.) – коэффициент аномальности в палеоген-неогеновых терригенных отложениях менее 1,2.

Есть основания считать, что образование в постартезианской системе локальных закрытых емкостей с трещинно-пластовым типом флюидоносности происходит в периоды активизации тектонически разнонаправленных движений. Последние оказывают необходимые силовые воздействия, приводящие к образованию макро- и микротрещиноватости в катагенетически преобразованных породах. На севере Дальнего Востока весьма заметно проявился плиоцен-четвертичный импульс позднеальпийских горизонтальных и субвертикальных движений, которые отразились в создании современного рельефа региона и в формировании новых зон нефтегазонакоплений в осадочных чехлах ОБ [23]. Не исключено, что АНПД в постартезианском этапе в кайнозойском осадочном выполнении глубоких ОБ на побережьях северо-западных тихоокеанских морей свидетельствуют об относительно малом возрасте новообразованных емкостей (не более 10 млн лет).

Заключение. Таким образом, в осадочных чехлах ОБ севера Дальнего Востока получили распространение емкости или объекты, сформированные как экзогенными, так и эндогенными факторами.

Емкости, образованные при участии экзогенных факторов (глобальные колебания климата и уровня Мирового океана), вызвавших становление и развитие криолитозоны, отнесены нами к приповерхностным. Глубина их распространения не превышает первых сотен метров. По отношению к толще многолетнемерзлых пород они делятся на подмерзлотные, внутримерзлотные и надмерзлотные. С нашей точки зрения, в этой группе наибольший практический интерес представляют внутримерзлотные емкости, которые при соответствующей инженерной подготовке можно преобразовать в надежные хранилища жидких нефтепродуктов и газообразных веществ.

Глубинные емкости образованы при участии эндогенных факторов (длительное накопление и катагенетическое преобразование осадочного чехла глубоких ОБ, тектонические разнонаправленные движения). Определенный вклад в создание пластовых давлений вносят приливные солнечно-лунные воздействия. Объекты с АНПД связаны с

толщей катагенетически преобразованных на уровне средний мезокатагенез – апокатагенез пород. Закономерности новообразования трещинно-пластовых емкостей определяются преобразованием монтмориллонита в гидрослюды с соответствующим снижением прочностных свойств осадочных пород. Замкнутость емкостей обусловлена очаговым характером поля тектонических напряжений, в пределах которого наибольшие растягивающие усилия концентрируются в своде положительных геологических структур и в зонах сдвиговых перемещений. В заполнении новообразованных емкостей флюидами основную роль играет файлюация или молекулярный массоперенос по градиенту давлений. В рамках предлагаемого объяснения АНПД в глубинных емкостях возникает на начальной стадии существования локальной емкости. По мере заполнения ее флюидами пластовое давление возрастает до АВПД, равного геостатическому. Можно считать, что образование и последующее заполнение флюидами локальных емкостей в слабо- или непроницаемой толще за счет файлюационного переноса является необходимым звеном в общем процессе аккумуляции рассеянных углеводородов с последующим переформированием в месторождения нефти и газа в пластах артезианской геогидродинамической системы.

Как известно, емкости с аномально низкими давлениями в осадочном чехле ОБ стали рассматриваться в качестве перспективных объектов для захоронения особо опасных отходов [1, 2, 12]. В рамках данного направления использования емкостей с АНПД необходимо считаться с возможной скоростью естественного заполнения емкости и, соответственно, роста пластового давления. При этом следует обратить внимание на амплитуду приливно-отливных движений в земной коре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абукова Л.А., Яковлев Ю.И. Природоохранная технология освоения нефтегазового потенциала Восточной Сибири // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и экономико-правовые аспекты: материалы междунар. науч. конф. Воронеж, 6–10.10.2009 г. Воронеж, 2009. С. 6–9.
2. А.с. 152634. Способ подземного захоронения жидких и газообразных веществ / В.Е. Глотов. Приор. от 01.08.1987 г.
3. Арье А.Г. Влияние физического взаимодействия воды и породы на процесс геофильтрации: автореф. дисс.... Докт. геол.-минерал. наук. М., 1986. 45 с.

4. *Белова М.Б., Васильев В.Г., Власов Г.М.* и др. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Камчатки. М.: Гостептехиздат, 1961. 344 с.
5. *Белый В.Ф.* Формации и тектоника Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Наука, 1978. 213 с.
6. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 414 с.
7. Геология СССР. Т. 30. Северо-Восток СССР. Кн. 1. Геологическое описание / ред. И. Е. Драбкин. М.: Недра, 1970. 548 с.
8. *Глотов В.Е.* Влияние позднекайнозойских морских трансгрессий и регрессий на формирование подземных вод западного побережья Берингова моря // Тезисы докладов IX совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока СССР. Иркутск, 1979. С. 123–124.
9. *Глотов В.Е.* Гидрогеологические черты осадочных бассейнов Северо-Востока СССР // Геология зоны перехода континент – океан на Северо-Востоке Азии. Магадан, 1991. – С. 73–86.
10. *Глотов В.Е.* Гидрогеология осадочных бассейнов. Магадан: ОАО «Кордис», 2009. 232 с.
11. *Глотов В.Е., Вацлов Ю.Я.* Периодические объемные расширения земной коры как гидрогеологический фактор в криолитозоне // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: материалы Междунар. конф. Томск, 2000. С. 588–590.
12. *Гончаров В.И., Глотов В.Е., Гревцев А.В.* Осадочные бассейны северных территорий и проблема захоронения жидких отходов // Вестн. Южного НЦ РАН. 2006. Т. 1, № 1. С. 58–65.
13. *Елисафенко Т.Н.* Закономерности криогенного преобразования толщ пород и подземных вод угольных бассейнов Дальнего Востока: автореф. дисс.... канд. геол.-минерал. наук. М., 1988. 12 с.
14. *Завадский В.А., Гома Л.М., Кудрявцева Е.И.* Бассейны Сахалинской складчатой системы. Северо-Сахалинский бассейн // Осадочные бассейны Дальнего Востока СССР и перспективы их нефтегазоносности / отв. ред Ю.С. Воронков. Л., 1987. С. 223–250.
15. *Иванов В.В.* Осадочные бассейны Северо-Восточной Азии. М.: Наука, 1985. 208 с.

16. *Иванов В.В., Глотов В.Е., Щербань О.В.* Общая модель формирования флюидных систем глубоких осадочных бассейнов // Условия нефтеобразования на больших глубинах. М., 1986. С. 41–45.
17. *Карцев А.А.* Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Гостоптехиздат, 1963. 353 с.
18. *Кучерук Е.В., Крылов В.И.* Аномальные пластовые давления // Горная энциклопедия: в 6 т. / гл. ред. Е.А. Козловский. М., 1984. Т. 1. С. 126.
19. *Леворсен А.* Геология нефти и газа: пер. с англ. / под ред. Н.Б. Вассоевича и М.К. Калинин. М.: Мир, 1970. 638 с.
20. *Матусевич В.М., Бацуев О.В.* Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Сов. геология. 1986. № 2. С. 117–122.
21. *Мельхиор П.* Земные приливы: пер. с англ. / под ред. Н.Н. Парийского М.: Мир, 1968. 482 с.
22. *Неизвестнов Я.В., Воинов О.Н., Постнов И.С.* Солевой и газовый состав пластовых вод Новосибирских островов и окружающих территорий // Геология шельфа восточно-сибирских морей. Л., 1976. С. 78–89.
23. *Оруджева Д.С., Халимов Э.М.* Перспективы поисков новых залежей нефти и газа в окраинных морях // Геология нефти и газа. 1994. № 7. С. 9–15.
24. *Хопкинс Д.М.* История уровня моря в Берингии за последние 250 тыс. лет // Берингия в кайнозой: материалы Всесоюз. симпоз., Хабаровск, 10–15.05.1973 г. Владивосток, 1976. С. 9–25.
25. *Чехов А.Д.* Тектоническая эволюция северо-востока Азии: (окраинно-морская модель). М.: Науч. мир, 2000. 204 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

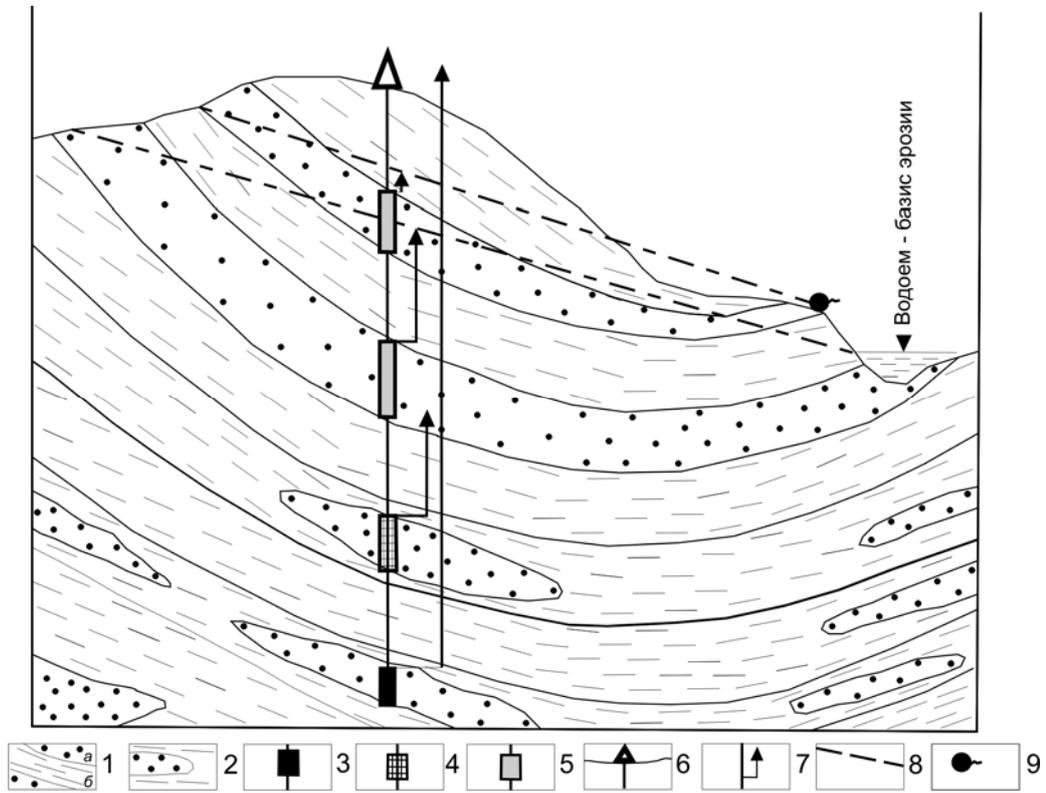


Рис. 1. Схема расположения объектов с разнообразными пластовыми давлениями:
 1 – пластовые флюидопроницаемые (а) и флюидонепроницаемые (б) слои; 2 – изолированные флюидоносные объекты; 3 – вскрытые объекты с нормальным (гидростатическим) пластовым давлением; 4 – то же с аномально низким пластовым давлением; 5 – то же с аномально высоким пластовым давлением; 6 – скважина; 7 – высота напора; 8 – линия гидростатических напорных уровней; 9 – источник

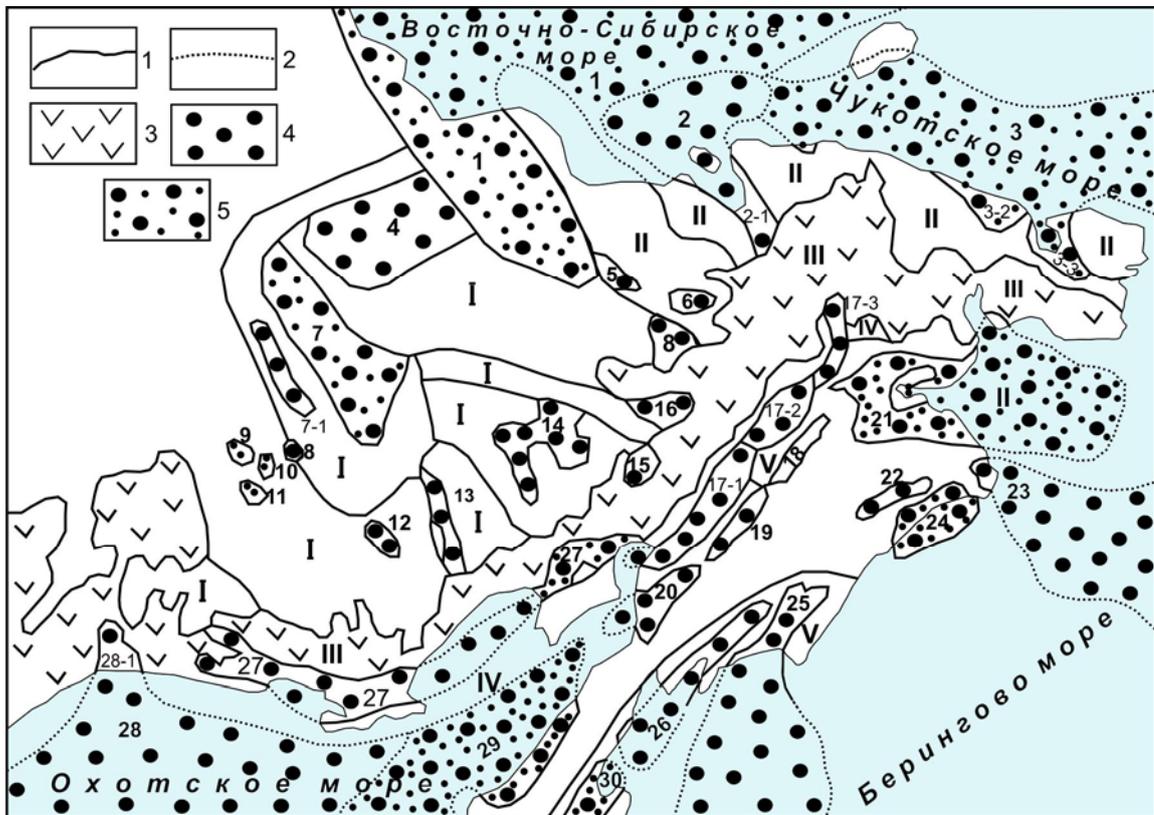


Рис. 2. Схема расположения осадочных бассейнов (ОБ) на севере Дальнего Востока [7, 5, 15, 25]:
 1 – граница между тектоническими элементами на суше; 2 – то же в пределах морской акватории; 3 – вулканогенный пояс; 4 – осадочные бассейны; 5 – осадочные бассейны с выявленными объектами с АНПД. Основные структурные элементы: I. Верхояно-Чукотская мезозойская складчатая область; II. Чукотский район; III. Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; IV. Корякско-Камчатская позднемезозойская складчатая область; V. Восточно-Камчатско-Курильская складчатая область. 1 – Восточно-Сибирский ОБ; 2 – Чаунский ОБ, в т.ч. 2-1 – Чаунская впадина; 3 – Лонго-Чукотский ОБ, в т.ч. впадины: 3-1 – Валькарайская, 3-2 – Ванкаремская, 3-3 – Колючинская; 4 – Северо-Колымский ОБ; 5 – Камешковский ОБ; 6 – Нутесынский ОБ; 7 – Индигиро-Зырянский ОБ, в т.ч. 7-1 – Момская впадина; 8 – Айнахургенский ОБ; 9 – Аркагалинский ОБ; 10 – Берелехский ОБ; 11 – Момский ОБ; 12 – Сеймчано-Буюндинский ОБ; 13 – Омсукчанский ОБ; 14 – Молонджинский ОБ; 15 – Верхне-Марковский ОБ; 16 – Умкувеемский ОБ; 17 – Пенжинский ОБ, в т.ч. впадины: 17-1 – Пенжинская; 17-2 – Анадырская; 17-3 – Бельская; 18 – Майнский ОБ; 19 – Паропольский ОБ; 20 – Пусторецкий ОБ; 21 – Иомраутский ОБ; 23 – Берингийский (Нортон) ОБ; 24 – Хатырский ОБ; 25 – Олюторский ОБ; 26 – Ильпинский ОБ; 27 – Яно-Тауйский ОБ; 28 – Североохотоморский ОБ, в том числе 28-1 – Охотская впадина; 29 – Западно-Камчатский ОБ; 30 – Восточно-Камчатский ОБ

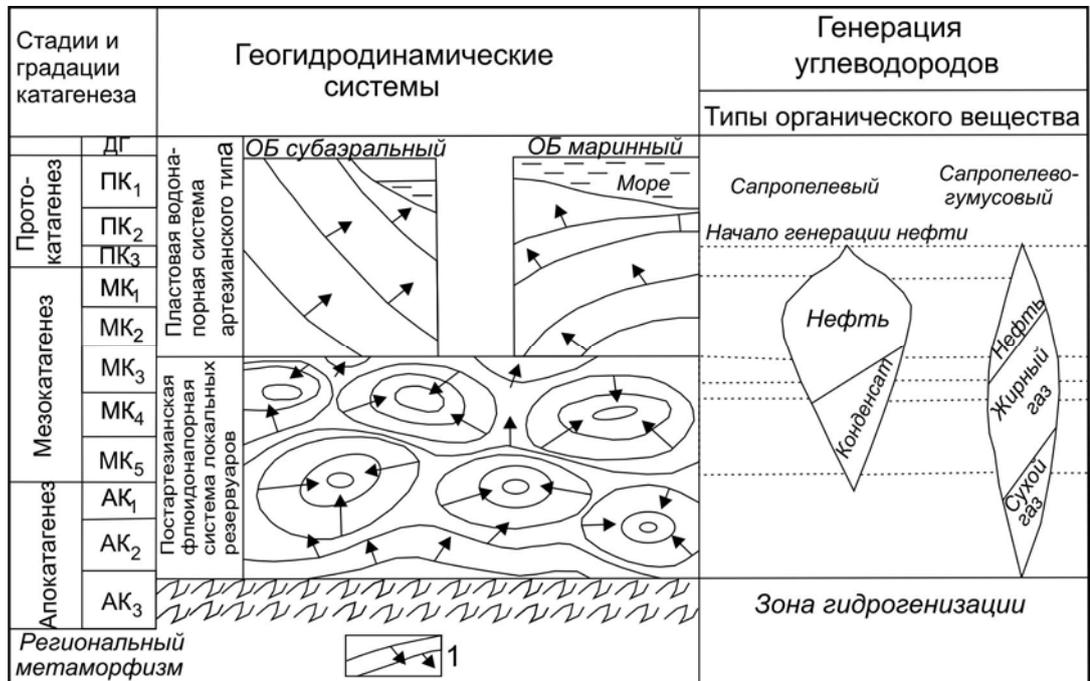


Рис. 3. Принципиальная схема соотношения катагенетических, органо-геохимических зон и геогидродинамических систем
 I – изопотенциалы (стрелки – направления движения флюидов)