

УДК 553.98:551.86

Е.Е. Карнюшина<sup>1</sup>, Е.В. Жукова<sup>2</sup>

## ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТАЦИИ НИЖНЕЮРСКО-ААЛЕНСКОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

На основе литологических исследований рассмотрены строение, условия осадконакопления и газоносность терригенного нижнеюрско-ааленского природного резервуара Вилюйской синеклизы. Дан прогноз распространения проницаемых песчаных тел коллекторов и охарактеризовано распределение толщины флюидоупора.

*Ключевые слова:* нижнеюрско-ааленский природный резервуар, литофации, обстановки седиментации, месторождения углеводородов, Вилюйская синеклиза.

On the basis of lithological studies, the authors examined the composition, depositional environment and gas-bearing of the Lower Jurassic terrigenous reservoir Vilyuy syncline. The forecast distribution of permeable sand bodies of reservoir and distribution of seal thicknesses.

*Key words:* lower Jurassic-Aalenian reservoir, lithofacies, depositional environment, hydrocarbon deposit, Vilyuy synecclise.

**Введение.** Нижнеюрско-ааленские отложения Вилюйской синеклизы суммарной толщиной до 600 м содержат залежи газа, которые были открыты в антиклинальных ловушках в 60-е гг. XX в. На современном этапе для расширения сырьевой базы региона необходимо выявление неантиклинальных ловушек. В связи с этим авторами проведен литофациальный анализ толщи нижней юры—аалена на основе изучения керн скважин, выявления характера чередования отложений и их генетических признаков. Кроме того, обобщены фондовые и опубликованные описания обнажений нижней юры—аалена, характеристики емкостно-фильтрационных свойств пород-коллекторов и их газоносности [Шурыгин, 2000; Граусман, 1987; Сластенов, 1994; Гриненко, 2007, 2008].

Вилюйская синеклиза, расположенная на древней Сибирской платформе, представляет собой обширную зону погружения, разделяющую Алданскую и Анабарскую антеклизы. Перед фронтом Верхоянского складчатого-надвигового пояса она соединяется с Ленским прогибом, на юго-западе синеклиза раскрывается в Предпатомский прогиб [Тектоника..., 2001]. В пределах синеклизы выделяются структуры 2-го и 3-го порядков: Сунтарский свод, Логлорский и Хапчагайский валы, Ыгыатинская, Кемпендяйская, Линденская, Лунгхинская впадины (рис. 1).

Толща нижней юры—аалена состоит из двух литолого-стратиграфических комплексов, образующих природный резервуар. Первый комплекс включает отложения в стратиграфическом объеме геттанга—плинсбаха и содержит породы-коллекторы; второй комплекс объединяет отложения тоара—нижнего

аалена, выделяемые в качестве сунтарской свиты, представляющей собой региональный флюидоупор. Этот природный резервуар на глубине 700—2100 м содержит газовые и газоконденсатные залежи преимущественно пластово-сводового типа. Они находятся на Хапчагайском вале (Средневилюйское, Матахское, Соболах-Неджелинское месторождения), в зонах сочленения разнородных структур восточнее вала (Нижнетюкянское месторождение) и на запад от него (Усть-Вилюйское месторождение).

**Литолого-стратиграфические комплексы** представлены рядом литофаций (рис. 2), которые рассматриваются как разновозрастные геологические тела, отличающиеся по соотношению основных типов пород, характеру их чередования и генетическим признакам.

**1 комплекс** несогласно залегает на размытых отложениях триасового возраста. Его толщина составляет 58 м на юго-западе синеклизы и достигает 550 м на северо-востоке, что связано с изменением обстановок седиментации комплекса (рис. 3).

На юго-западе территории распространена глинисто-песчано-гравийная литофация аллювиального генезиса. В бассейне р. Вилюй слагающие ее отложения несогласно залегают на песчаниках триасового возраста. В нижней части комплекса (39 м) залегают конгломераты, перекрытые сероцветными песчаниками разного гранулометрического типа, расслоенные алевролитами и аргиллитами. Отложения содержат включения углефицированного растительного детрита и конкреции пирита. Верхняя часть комплекса (19 м) в основании представлена гравелистыми песчаниками (1,6 м). Выше залегают

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор, ст. науч. с.; e-mail: evgem@geol.msu.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; e-mail: zhukova\_lena@list.ru

темно-серые и серые глины с включениями карбонатных конкреций [Шурыгин, 2000].

В описанных аллювиальных отложениях находится газовая залежь Нижнетюкянского месторождения. В песчаных коллекторах, изученных на глубине 1308–1362 м, открытая пористость ( $P_{от}$ ) достигает 27%, дебит газа составляет 256 тыс.  $m^3/сут$ .

По направлению на восток аллювиальные отложения литофации сменяются накоплениями дельтовой системы, представленной субэвальной и субаквальной частями. Образования субэвальной дельты выделены по результатам изучения разреза мощностью 150 м, вскрытого скважиной Быраканская-3 и характеризующего алевро-глинисто-песчаную литофацию. Ее слагают песчаники серые и светло-серые, преимущественно среднезернистые, средней крепости. В верхней части разреза среди песчаников появляются алевролиты и аргиллиты тонкослоистые.

Субаквальная дельта, представленная алевро-глинисто-песчаной и глинисто-алевро-песчаной литофациями толщиной 200–440 м, находилась в верхней части подводного берегового склона.

Алевро-глинисто-песчаная литофация охарактеризована отложениями, вскрытыми на Хапчагайском вале в скважине 19 Средневилюйского газоконденсатного месторождения. Это песчаники мелко-среднезернистые, светло-серые, с прослоями серых алевролитов глинистых и аргиллитов. В породах отмечены многочисленные включения пирита, углефицированного растительного детрита. Для песчаников и алевролитов характерны знаки течения, косослоистая параллельная и косоволнистая текстуры, иногда осложненные следами ходов илоедов.

Породы-коллекторы Средневилюйского и Матахского месторождений содержат пластово-сводовые газоконденсатные залежи.  $P_{от}$  коллекторов составляет 17–26,5%, коэффициент проницаемости ( $K_{пр}$ ) — 46–406 мД, дебит углеводородов колеблется от 60 до 283 тыс.  $m^3/сут$ . На Соболах-Неджелинском месторождении открыты три газовые залежи с дебитом 155–476 тыс.  $m^3/сут$ .

Глинисто-алевро-песчаная литофация субаквальной дельты выделена южнее и севернее зоны алевро-глинисто-песчаных накоплений. На юге она охарактеризована разрезом толщиной 162 м, вскрытым в скважине Байская-1. Здесь описаны косослоистые



Рис. 1. Основные структурные элементы и месторождения углеводородов Вилульской синеклизы: 1–2 — границы: 1 — Вилульской синеклизы, 2 — структурных элементов 2-го и 3-го порядка; 3 — месторождения углеводородов; 4 — скважины (а) и населенные пункты (б)

песчаники светло-серые и серые, разномерные, с редкими включениями гальки кварца. Песчаники имеют разную крепость вследствие неравномерной карбонатизации и пиритизации, расслоены плотными алевролитами слабослюдистыми серыми и светло-серыми, иногда песчанистыми, а также аргиллитами темно-серыми.

На севере к глинисто-алевро-песчаной литофации субаквальной дельты относятся отложения, вскрытые скважинами Северо-Линденская-4 и Хоргочумская-280. В скважине Северо-Линденская-4 их толщина составляет 192 м, они представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Песчаники светло-серые, иногда с голубоватым оттенком, мелкозернистые, средне- и крупнозернистые, нередко карбонатизированные. Их текстура изменяется снизу вверх по разрезу от косослоистой до горизонтальной волнистой; алевролиты темно-серые мелкозернистые, с включениями пирита и углефицированного растительного детрита; алевритистые темно-серые аргиллиты образуют редкие прослои, содержат мелкие линзы и пропластки углито-слюдистого материала.

В скважине Хоргочумская-280 глинисто-алевро-песчаная литофация (144 м) представлена пе-

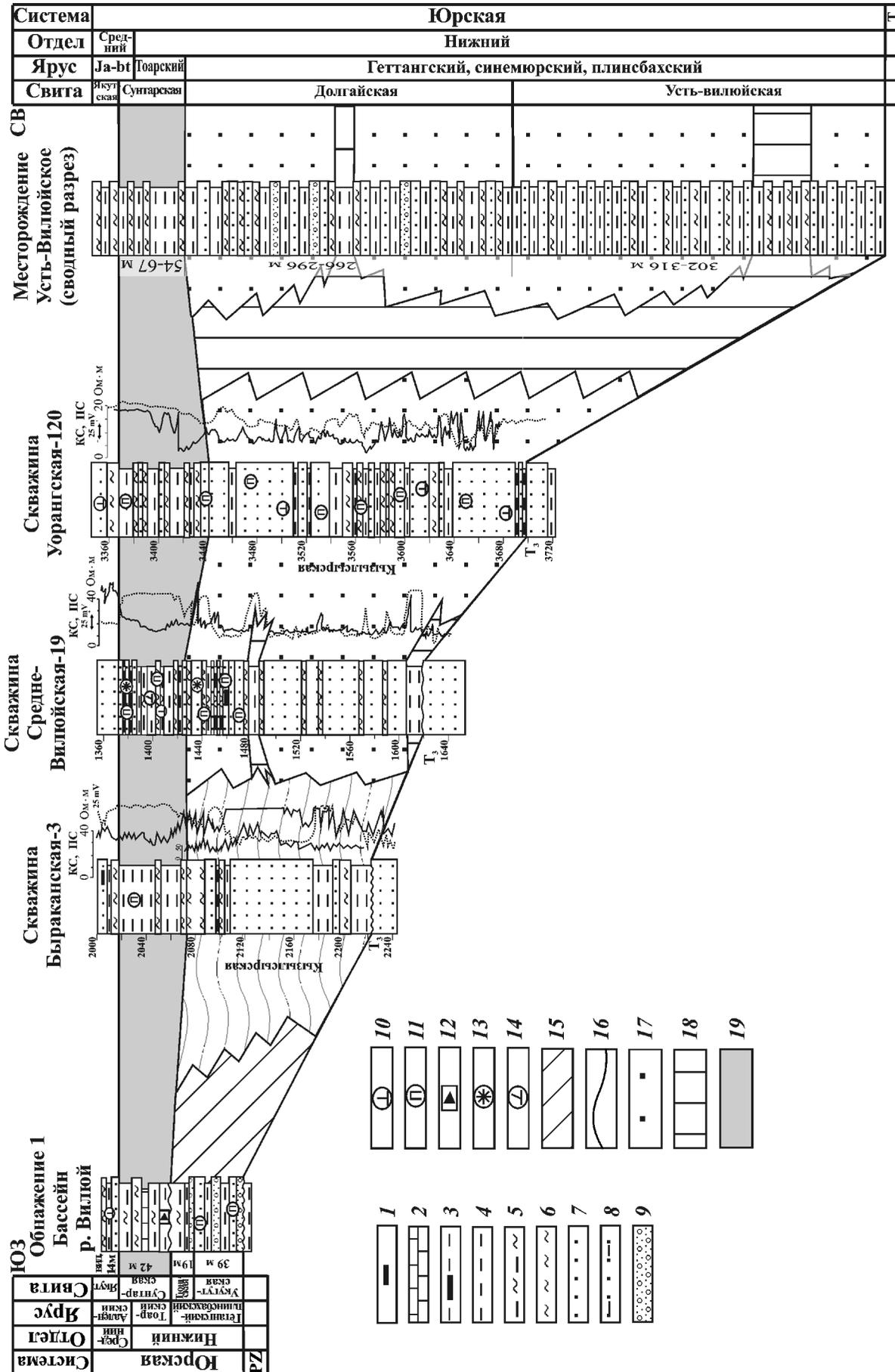


Рис. 2. Схема корреляции отложений нижней горы—аалена и зональность обстановок их седиментации: 1–9 — породы: 1 — угли, 2 — известняки, 3 — глинисто-углистые и углито-глинистые породы, 4 — аргиллиты, 5 — алевроглинистые и глинисто-алевритовые породы, 6 — алевролиты, 7 — песчаники, 8 — песчаники глинистые, 9 — песчаники гравелитистые; 10–14 — вторичная минерализация: 10 — карбонатизация, 11 — пиритизация, 12 — битуминозность, 13 — ожелезнение, 14 — сидеритизация; 15–19 — обстановки седиментации: 15 — аллювиальная, 16–17 — дельтовая (16 — субаквальная и подводных дельтовых конусов), 18 — подводного берегового склона, 19 — сублиторальная

реслаиванием двух разностей песчаников — серыми мелко- и среднезернистыми слабосцементированными, издающими слабый запах УВ, и светло-серыми средне- и крупнозернистыми с косоволнистой текстурой, подчеркнутую редкими прослоями аргиллитов и алевролитов. К плоскостям напластования приурочены трещины, ориентированные под углами 7–8°, и многочисленные пиритовые конкреции размером от 1×1 до 2×2 мм.

Дельтовые конусы выноса в нижней части подводного берегового склона представлены алевро-глинисто-песчаной и песчано-алевро-глинистой литофациями.

Алевро-глинисто-песчаная литофация дельтового конуса охарактеризована по сводному разрезу (590 м) Усть-Вилуйского газового месторождения. В нижней части разреза (302–316 м) наблюдается переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов. В основании толщи находятся полевкошпат-кварцевые песчаники, среди которых присутствуют все гранулометрические разности. Алевролиты зеленовато-серые и серые, имеют слюдисто-полевошпатово-кварцевый состав. Аргиллиты представлены темно-серыми и черными разностями. Описанное чередование пород сменяется кварц-полевошпатовыми песчаниками, серыми и светло-серыми, мелкозернистыми.

В верхней части разреза (266–296 м) залегают песчаники серые и зеленовато-серые, с подчиненными прослоями плотных серых и темно-серых алевролитов, а также темно-серых аргиллитов (до черных). Отмечены редкие прослои конгломератов. Среди песчаников описаны кварц-полевошпатовые разности с мелко- и среднезернистой структурой.

На Усть-Вилуйском месторождении выделены три продуктивных пласта. Песчаники нижнего — III — пласта имеют  $P_{от}=12\pm 18\%$ ,  $K_{пр}=32\pm 403$  мД. Притоки из этого пласта составляют от 360 до 936 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Коллекторы I и II пластов характеризуются  $P_{от}=6,5\pm 14\%$ ,  $K_{пр}=0,1\pm 40$  мД, максимальный приток газа из них достигает 354 тыс. м<sup>3</sup>/сут, газоконденсата — до 9,7 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

На севере исследуемой территории в районе скважин Приленская-1 и Алысардахская-2480 распространена песчано-алевро-глинистая литофация морского генезиса. В скважине Алысардахская-2480 мощность отложений I комплекса составляет 446 м.

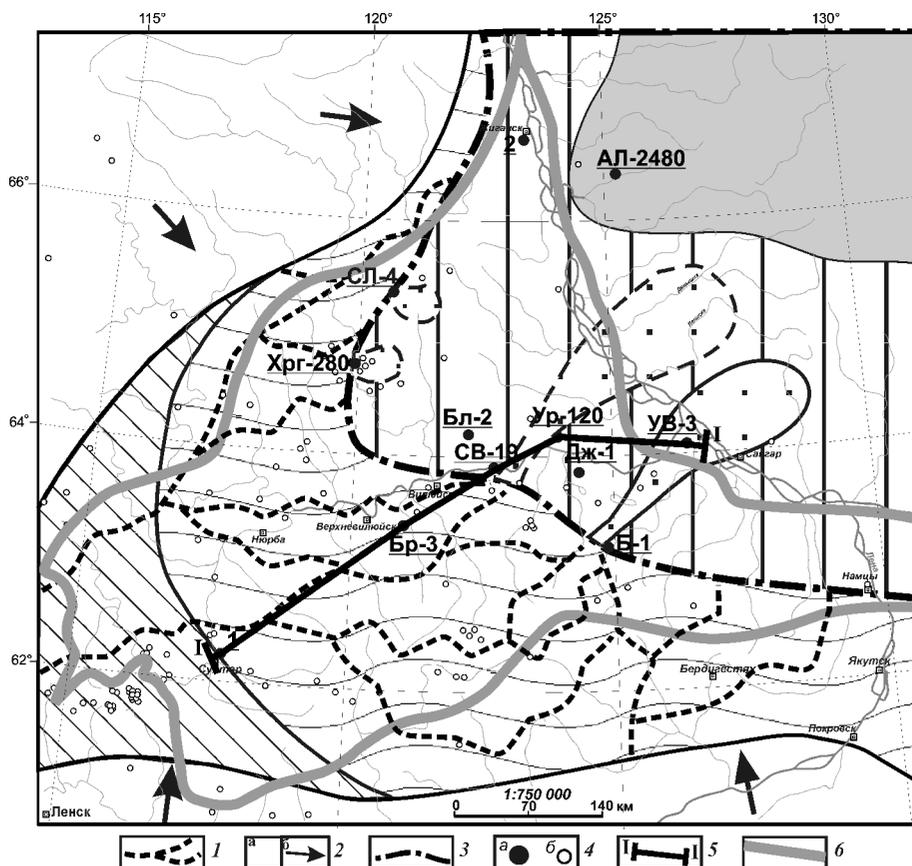


Рис. 3. Схема обстановок седиментации первого комплекса (геттангско-плинсабахского): 1 — реки предполагаемые; 2 — область размыва (а) и направление сноса материала (б); 3 — береговая линия; 4 — изученные разрезы, вскрытые скважинами и обнажениями: СЛ — Северо-Линденская, АЛ — Алысардахская, Хрг — Хоргочумская, УВ — Усть-Вилуйская, Бл — Балагачинская, УР — Уорангская, Дж — Джикимдинская, Бр — Быраканская, СВ — Средне-Вилуйская, Б — Байская (1 — обнажение р. Вилуй, 2 — сводный разрез для Жиганского района (а) и прочие скважины (б)); 5 — линия профиля, 6 — граница Вилуйской синеклизы

В его нижней части (170 м) чередуются песчаники, алевролиты и аргиллиты. Песчаники светло-серые мелкозернистые, кварц-полевошпатовые с редкими прожилками кальцита и включениями черного глинисто-углистого материала. Косая слоистость песчаников маркируется чередованием разностей серого цвета разной интенсивности и разностей с зеленоватым оттенком. Алевролиты темно-серые до черных, обогащены примесью слюд на плоскостях напластования. Темно-серые аргиллиты имеют многочисленные зеркала скольжения. В верхней части этого разреза (толщина 276 м) наблюдаются глинистые песчаники и алевролиты темно-серые до черных, слюдистые. Преобладают песчаники серого цвета, их структура варьирует от мелко- до крупнозернистой, косоволнистая текстура подчеркнута пропластками алевролитов серых, мелкозернистых, слюдистых, плотных. Отложения нарушены редкими трещинами, осложнены многочисленными зеркалами скольжения. Встречаются включения углефицированного детрита и желтовато-бронзового пирита.

Из приведенной характеристики I комплекса видно, что в зоне алевро-глинисто-песчано-гравийной

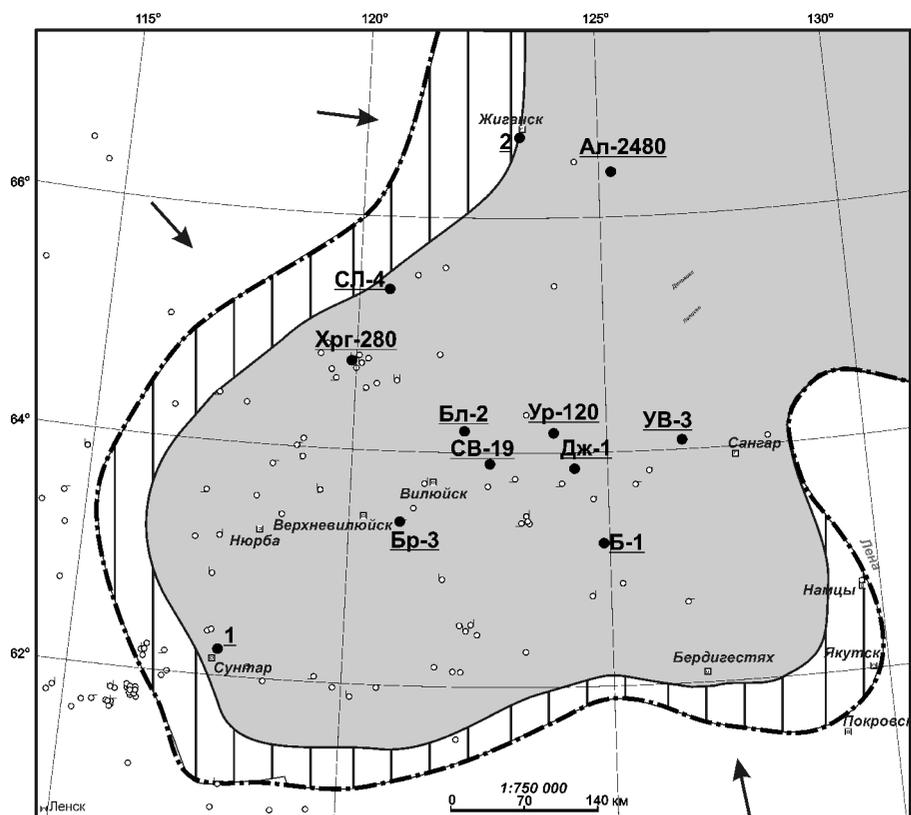


Рис. 4. Схема обстановок седиментации второго комплекса (тоарско-ниже-ааленского).  
Условные обозначения см. на рис. 2 и 3

обособлениями карбонатизированных линз в средней части разреза. В верхней части комплекса отложения опесчанены.

На Хапчагайском валу типичный разрез алевро-глинистой литофации сублиторального генезиса описан в скважине Средне-Вилуйская-19, где его толщина составляет 51 м. В интервалах отбора выделены снизу вверх 4 пачки отложений циклического строения (рис. 4):

I пачка с видимой толщиной 2,1 м имеет двухчленное строение. В основании ее нижней половины вскрыты маломощные песчаники, перекрытые мелким циклическим чередованием алевролитов и глинистых пород. Верхняя половина пачки сложена снизу вверх аргиллитами алевролитистыми и алевролитами с разной степенью глинистости. Отложения пачки имеют горизонтальную волнистую текстуру, на плоскостях напластования содержат редкие углефицированные растительные остатки и детрит. Затем следует пропуск 4,21 м;

II пачка (видимая толщина 10,9 м) в основании представлена алевро-песчаными ритмитами, выше чередуются глинистые темно-серые алевролиты и серые аргиллиты. Перечисленные разности пород образуют 3 циклита, которые содержат от 2 до 3 элементов циклита (эц). Циклиты 1 (4,86 м) и 2 (3,96 м) имеют двухчленное строение.

Нижний элемент циклита (нэц) 1 представлен алевролитово-песчаными ритмитами, сложенными миллиметровым чередованием мелкозернистых, серых, глинистых алевролитов и мелкозернистых желтовато-бурых песчаников. Текстура ритмитов горизонтальная линзовидно-волнистая. На плоскостях напластования присутствуют углефицированный растительный детрит и редкие чешуйки слюд. Выше залегают алевролиты мелкозернистые, глинистые с горизонтальной параллельной слоистостью и включениями сидерита (образец 45).

Нэц циклита 2 представлен алевролитами глинистыми, мелкозернистыми, серыми. Верхние эц состоят из серых аргиллитов с горизонтальной параллельной текстурой.

Циклит 3 (2,08 м) редуцирован, представлен нижним элементом, сложным серыми мелкозернистыми глинистыми алевролитами. На горизонтальных плоскостях их напластования присутствует углефицированный растительный детрит. Затем следует пропуск 3,5 м;

III пачка (видимая толщина 8,94 м) состоит из двух циклитов двухчленного строения.

литофации аллювиального генезиса известно только одно месторождение. Оно имеет площадь 800 м<sup>2</sup> и содержит залежь газа в высокочемких коллекторах, но дебит углеводородов относительно низкий. В зоне литофаций дельтовой системы находятся 4 газовых и газоконденсатных месторождения, площадь которых составляет 29–80 км<sup>2</sup>, дебит углеводородов из залежей относительно более высокий. Наибольший интерес представляют субаквальные дельтовые алевро-песчаная и алевро-глинисто-песчаная литофации толщиной до 550 м, с которыми связаны продуктивные пласты с эффективной мощностью 145–180 м.

**II комплекс** по составу и строению резко отличается от нижележащего комплекса, имеет выдержанную толщину (40–80 м), представлен алевро-глинистыми литофациями подводного берегового склона и глинистыми отложениями сублиторали (рис. 2, рис. 4). Глинистые породы комплекса имеют иллит-смектитовый состав, содержат примесь хлорита и каолинита. В юго-восточном направлении отложения опесчаняются.

В бассейне р. Вилюй II комплекс представлен алевро-глинистой литофацией, обогащенной остатками моллюсков и аммонитов и содержащей микрофауну, споры и пыльцу растительности. Среди отложений преобладают глины черные и темно-серые, иногда битуминозные, с единичными прослоями алевролитов, включениями карбонатных конкреций и

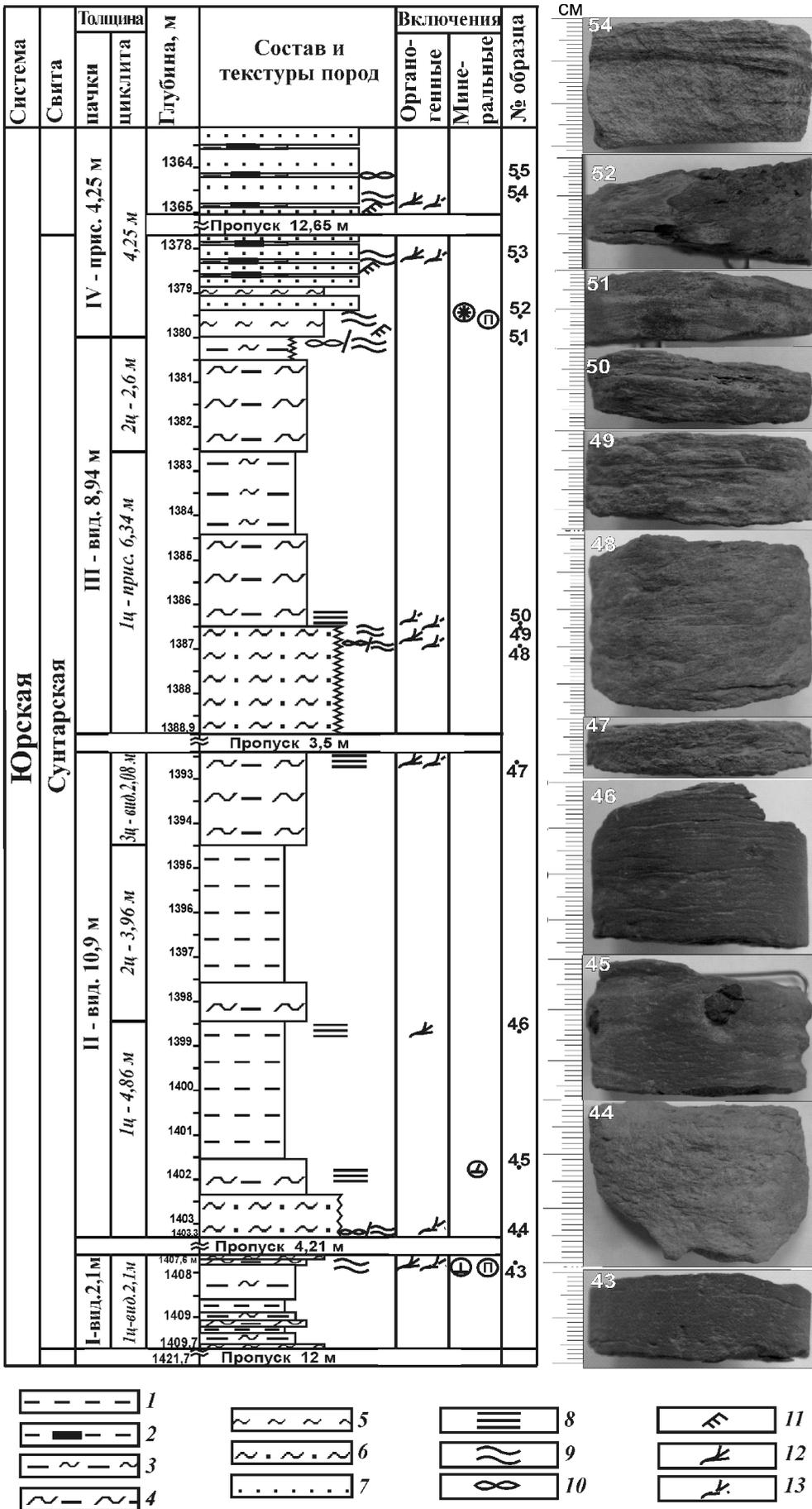


Рис. 5. Литологическая характеристика сунтарской свиты, скважина Средневилейская-19: 1 – аргиллиты, 2 – глинисто-углистые ритмы, 3 – аргиллиты алевроитистые, 4 – алевролиты глинистые, 5 – алевролиты, 6 – алевролитово-песчаные ритмы, 7 – песчаники; 8–11 – текстуры: 8–10 – горизонтальная (8 – параллельная, 9 – волнистая, 10 – линзовидная); 11 – знаки яри; 12–13 – углефицированные растительные включения (12 – остатки, 13 – детрит). Остальные условные обозначения см. на рис. 2

Циклит 1 (присутствует 6,34 м): нэц представлен алевролитово-песчаными мелкозернистыми ритмитами, которые состоят из равномерного (через 1–2 мм) чередования серых, светло-серых алевролитов и желтовато-бурых песчаников и содержат на горизонтальных плоскостях напластования углефицированный растительный детрит. В нижней части нэц слоистость линзовидно-волнистая, выше — волнистая.

Вэц сложен в нижней части алевролитами серыми, сильноглинистыми, горизонтальнослоистыми. Вверх по разрезу глинистость алевролитов увеличивается.

Циклит 2 (2,6 м). Нэц сложен горизонтальнослоистыми серыми и мелкозернистыми алевролитами с глинистым цементом.

Вэц представлен алевролитово-глинистыми ритмитами — через несколько миллиметров чередуются серые глинистые и желтовато-бурые алевролитовые мелкозернистые прослои. Преобладают разности с горизонтальной линзовидно-волнистой текстурой, встречаются прослои со знаками ряби;

IV пачка (присутствует 4,25 м) в основании представлена неравномерным переслаиванием алевролитов мелко-, крупнозернистых, светло-серых, желтовато-серых, буровато-коричневых, ожежененных, пиритизированных, с горизонтально-волнистой текстурой. Выше наблюдается чередование песчаников мелкозернистых, светло-серых до белесых, неравномерно расслоенных тонкими углисто-слюдисто-глинистыми пропластками, содержащими на плоскостях напластования углефицированный растительный детрит. Преобладают разности с горизонтальной линзовидно-волнистой текстурой, встречаются прослои со знаками ряби. На плоскостях напластования отмечен углефицированный растительный детрит.

На Усть-Вилуйской площади мощность алевроглинистой литофации варьирует от 54 до 67 м, фация представлена аргиллитами темно-серыми до черных, неравномерно пиритизированными, с редкими прослоями алевролитов.

Преимущественно глинистая литофация зоны сублиторали выделена на Неджелинской, Приленской и Толон-Мастахской площадях. На Толон-Мастахской площади она имеет толщину 35–60 м и представлена

глинистыми темно-серыми отложениями с пропластками и линзами карбонатных пород, иногда алевролитов. В верхней части разреза присутствуют маломощные мелкозернистые песчаники. Отложения пиритизированы, содержат остатки белемнитов и двустворок.

Мощность второго комплекса изменяется с юго-запада на северо-восток от 20 до 80 м.

**Заключение.** Образование нижеюрско-ааленского природного резервуара обусловлено эвстатическими колебаниями уровня моря. Коллекторская часть, представленная I комплексом, сформировалась в условиях низкого стояния моря и широкого распространения аллювиальных и дельтовых образований, среди которых весьма вероятно обнаружить неантиклинальные ловушки углеводородов. Они могут быть приурочены к пограничным районам разной обстановки седиментации (рис. 5) и зон литофациальных замещений. Так, в пределах территории аллювиального осадконакопления на юго-западе синеклизы (Ыгытинская, Кемпендяйская впадины, Сунтарский свод) формировались линзы и шнурковидные проницаемые тела осадков, накапливавшихся в речных руслах и в прирусловых валах. Подобные тела в пределах дельтовой системы распространены шире. Кроме того, в современном структурном плане дельтовой системы интерес представляют районы на границах положительных и отрицательных структур. В частности, наиболее опесчаненная зона предполагается в Линденской впадине. Ее восточная часть расположена в районе морской седиментации I комплекса, где песчаники сменяются более тонкозернистыми отложениями.

Региональный флюидоупор резервуаров (II комплекс) образовался в результате трансгрессии морского бассейна. Мощность накопившихся алевроглинистых и глинистых отложений возрастает в восточном направлении, где они перекрывают наиболее опесчаненные геологические тела I комплекса.

Таким образом, наиболее вероятная область распространения литологических ловушек и хороших коллекторов может находиться в центральной части Вилуйской синеклизы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Граусман А.А., Чистяков М.Г. Методика подсчетов запасов газа нетрадиционным способом на примере месторождений Вилуйской синеклизы // Геология и геохимия нефтегазоносных и угленосных районов Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. С. 67–81.

Гриненко В.С., Князев В.Г. Стратиграфия юрских отложений Хапчагайского и Лено-Вилуйского районов: расчленение и межрегиональная корреляция // Отчет. геология. 2008. № 5. С. 72–78.

Гриненко В.С., Князев В.Г., Девятов В.П. и др. Особенности юрского этапа формирования Восточно-Сибирского осадочного бассейна // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Ярославль, 2007. С. 46–48.

Сластенов Ю.Л. Стратиграфия мезозойских отложений Вилуйской синеклизы и Предверхоанского прогиба в связи с их нефтегазоносностью: Автореф. докт. дисс. СПб., 1994.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. 571 с.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал ГЕО, 2000. 480 с.