

УДК 551.763.1:552.143:553.98(571.121)

В.А. Жемчугова¹, М.О. Бербенев²

СЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РУССКО-ЧАСЕЛЬСКОГО МЕГАВАЛА (ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫЙ БАССЕЙН)

Резервуары, содержащие основные скопления углеводородов на Русско-Часельском мегавале, связаны с русловыми песчаниками и перекрывающими их пойменными глинами покурской свиты. Они имеют очень локализованное распространение и лимитируются границами древних речных долин. Комплексная интерпретация скважинных данных и материалов трехмерных сейсморазведочных работ позволила с новых позиций оценить строение продуктивной толщи, выполнить прогноз развития коллекторов на площади и предложить авторский вариант геометризации залежей углеводородов.

Ключевые слова: покурская свита, седиментационное моделирование, литолого-фациальный анализ, сейсмофациальное районирование, аллювиальные обстановки осадконакопления, литологический экран, Русско-Часельский мегавал.

Most of hydrocarbon resources of Russko-Chaselskiy ridge is associated with reservoirs of Pokur Formation. It is composed generally of alluvial sandstones and shales. Due to genesis Pokur reservoirs have complex structure and localized spread within ancient alluvial plains. Performed integrated interpretation of well and 3D seismic data allowed to estimate new perspective fields and to geometrize oil and gas pulls.

Key words: Pokur Formation, sedimentation modeling, lithofacies analysis, seismic facies analysis, alluvial depositional environment, local change in lithology, Russko-Chaselskiy ridge.

Введение. Надым-Пур-Тазовский район в Ямало-Ненецком автономном округе Западной Сибири (рис. 1) — главный газодобывающий район России. Согласно прогнозу он будет сохранять этот статус в долгосрочной перспективе, хотя и предполагается, что за счет освоения ресурсов Ямала, Восточной Сибири и шельфа Баренцева моря его доля снизится с 87% в настоящее время до 64–60% к 2020 г. [Скоробогатов, 2014]. Около 30% разведанных запасов углеводородов (УВ) Пур-Тазовского района содержится в залежах, выявленных на Русско-Часельском мегавале и в сопредельных структурах в междуречье рек Пур и Таз. Эти запасы связаны с терригенными отложениями покурской свиты, выделенной в стратиграфическом объеме аптского, альбского и сеноманского ярусов. Общая мощность свиты, сложенной неравномерно переслаивающимися песчаниками, алевролитами и глинами, составляет 850–1000 м. В разрезе бурением установлена промышленная нефтегазоносность пластов АТ₆, ПК_{21–22}, ПК₁₉, ПК₁₈, ПК₁₇^{1–2}, ПК₁₆^{1–2}, ПК₁₅, ПК₁₄, ПК₁₃², ПК₁₂, ПК_{1–4}.

Широкий стратиграфический диапазон нефтегазоносности покурских отложений обусловлен главным образом седиментационными причинами, обеспечившими благоприятное соотношение песчаных коллекторов и глинистых флюидоупоров.

Однако невыдержанность по площади и изменчивость по разрезу их свойств предопределили многочисленные проблемы освоения выявленных залежей нефти и газа, разрешение которых невозможно без детальных седиментологических реконструкций [Прогнозирование..., 2006]. С этой целью нами выполнен литолого-фациальный анализ покурских отложений, объединивший результаты изучения керна скважин и целенаправленной седиментационной интерпретации геофизических данных (скважинных и сейсмических). Основное внимание при этом уделено ниже- и среднепокурской подсвите, характеризующимся наиболее сложным строением, а также неоднозначностью выделения природных резервуаров, содержащих углеводородный флюид.

Седиментационная модель покурских отложений.

Анализ геолого-геофизической информации позволяет предположить существование на территории современного Русско-Часельского мегавала в покурское время аллювиальной равнины, на которой распределение полигенных осадков во многом было обусловлено деятельностью меандрирующих рек. Длительное существование речной системы в условиях медленного погружения земной коры привело к формированию мощной толщи аллювиальных отложений, сложенной циклично построенными песчано-алевроглинистыми осадками и

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: zem@gds.ru

² ООО «Геофизические системы данных», Москва, ведущий геолог; e-mail: berbennev@gds.ru

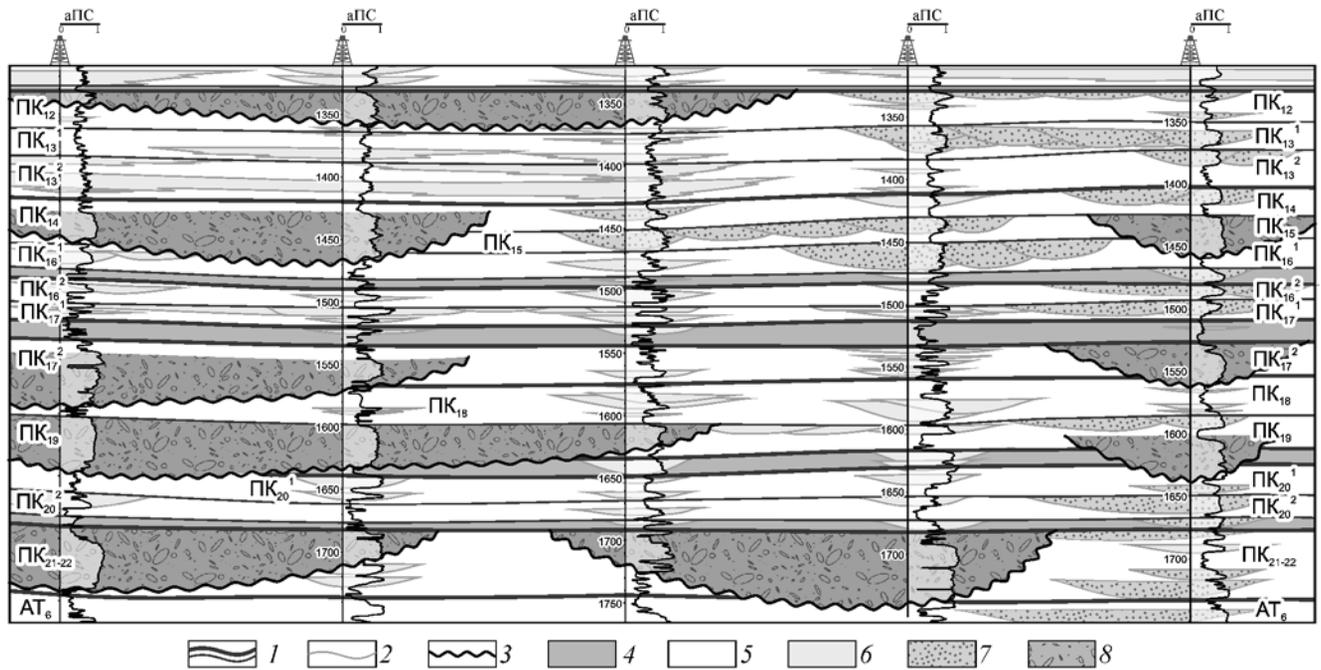


Рис. 2. Литолого-фациальный разрез покурских продуктивных отложений: 1–3 — границы: 1 — пласты, 2 — алевропесчаные тела, 3 — русловые эрозионные врезы; 4–8 — фациальные комплексы: 4 — болота, 5 — внутренняя пойма, 6 — внешняя пойма, 7 — прирусловые отмели боковых русел, 8 — главное русло

направления течения речных потоков с северо-востока на юго-запад, что не противоречит общей палеогеографической зональности.

Пласт сформирован средне-мелкозернистыми, в разной степени алевритистыми песчаниками, аркозовыми, реже граувакковыми, косослоистыми (реже массивными). Содержание обломочного компонента в них составляет 70–90%, среди обломков примерно в равных долях встречаются кварц (30–40%) и полевые шпаты (35–40%); подчиненное значение имеют обломки кремнистых, глинистых и эффузивных пород (обычно до 10%, в отдельных прослоях >20%), а также слюдяные минералы (1–3%). Преобладающий размер обломков составляет 0,1–0,2 мм, они имеют окатанную и полуокатанную форму, степень сортировки средняя. Цементируется обломочный материал глинистым и карбонатно-глинистым цементом. На разных уровнях в песчаниках попадаются окатанные и полуокатанные плоские глинистые гальки размером от нескольких миллиметров до 4–5 см. Особенности строения песчаников, характерный каротажный и сейсмический облик позволяют предположить их русловой генезис.

Вверх по разрезу в пласте АТ₆ доля песчаного материала уменьшается — сначала появляется, а затем начинает преобладать алевритовый и глинистый материал. Верхнюю часть пласта слагают пойменные фации, сложенные темноокрашенными глинами и алевролитами со следами взмучивания и оползания, часто с фрагментами корневой системы растений, обогащенные углистым материалом. Встречающиеся в парагенезе с ними маломощные песчаные тела, вероятно, были сформированы в

условиях второстепенных русел [Sandstone..., 1982]. Возможно также, что часть этих тел представляет собой осадки конусов прорыва.

Изменчивое строение пласта (рис. 4, а), отраженное в сейсмических атрибутах, позволяет предположить, что накопление песчаного материала происходило в речных долинах с разными характеристиками как флювиального потока, так и субстрата, в который эти потоки врезались. Вероятно, причина этого явления заключается в рельефе поверхности, по которой текли реки. Так, на севере на протяжении всего осадочного цикла преобладали пойменные условия, в связи с чем русла имеют слабоизвилистую форму с небольшими прирусловыми отмелями. В южной части число небольших разветвленных рек (или их участков) было больше, что обеспечивало последовательное увеличение объема накопления песчаного материала за счет многочисленных, часто наложенных одна на другую кос, прирусловых валов и береговых гряд.

Структура пласта ПК_{21–22} сформировалась по такому же сценарию развития процесса осадконакопления. В нижней части пласт ПК_{21–22} сложен средне-мелкозернистыми массивными песчаниками (мощность до 40 м), часто с плоской глинистой галькой в основании, сменяющимися сначала мелкозернистыми косослоистыми песчаниками с крошкой и тонкими линзочками углистого вещества, а затем чередующимися песчаниками, алевролитами и глинами. Перекрывают пласт темные тонкослоистые глины с обугленными фрагментами корневой системы растений, иногда с прослоями углей.

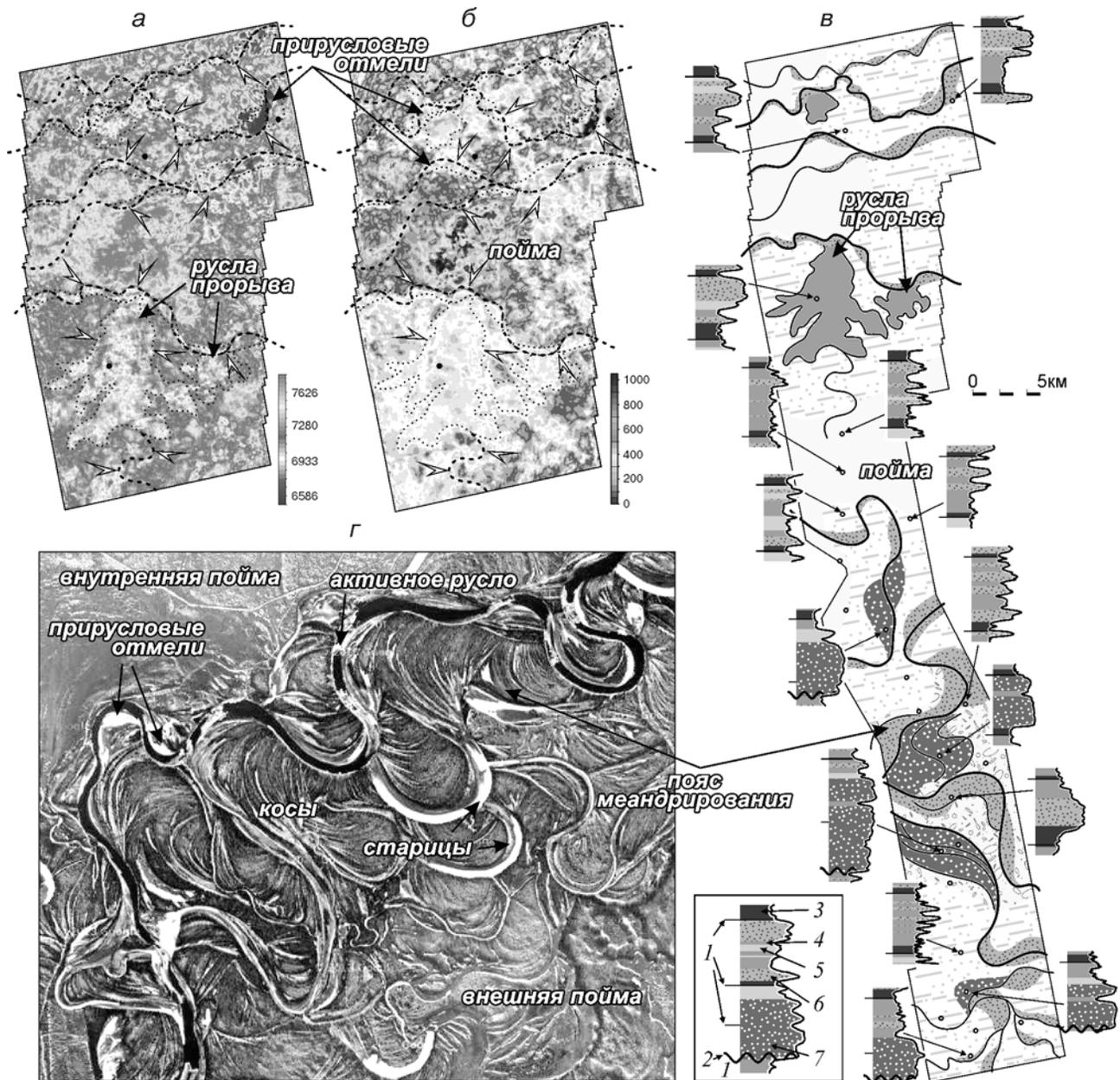


Рис. 3. Пример сейсмофациального районирования отложений аллювиального осадочного комплекса: *а* — стратиграфический срез куба ПАИ вдоль кровли пласта; *б* — карта средних значений ПАИ, рассчитанная во временном окне интервала пласта; *в* — схема литолого-фациального районирования пласта; *г* — пример современной меандрирующей реки, космоснимок фрагмента речной системы р. Аган (Западная Сибирь). В эталонных разрезах скважин: 1–2 — границы: 1 — циклиты (пласты), 2 — подошва эрозийного вреза; 3–7 — осадочные комплексы: 3 — болото, 4 — глинистые отложения внутренней поймы, 5 — смешанные песчано-глинистые отложения внешней поймы, 6–7 — песчаные отложения русел (6 — в теле циклита, 7 — в эрозийном врезе)

Наиболее устойчивое распространение песчанников, связанных с песчаными косами крупных меандрирующих русел, выделяется в северной части изучаемой территории (рис. 4, б). На остальной части рассматриваемой территории преобладают алевроглинистые осадки, содержащие на разных уровнях песчаные тела толщиной до 10–12 м, сформированные в условиях боковых проток, стариц, береговых валов, конусов прорыва. Все они, как правило, имеют линзовидное строение и распространены локально.

Времени накопления осадков пласта ПК₁₉ отвечает повышение относительного уровня моря,

что привело к преобладанию глинистой седиментации на аллювиальной равнине [Позаментьер, Аллен, 2014]. В разрезе пласта ПК₁₉ значительные по толщине (15–20 м) пачки песчанников встречаются преимущественно в юго-западной части района, где они приурочены к крупным врезам, наследующим более древнюю речную долину и образующим своеобразные депоцентры песчаного осадконакопления (рис. 4, в). Здесь в составе песчанников преобладают хорошо отсортированные косо- и горизонтальнослоистые разности. В минеральном составе преобладает кварц (45–50%), в несколько меньшем количестве встречаются

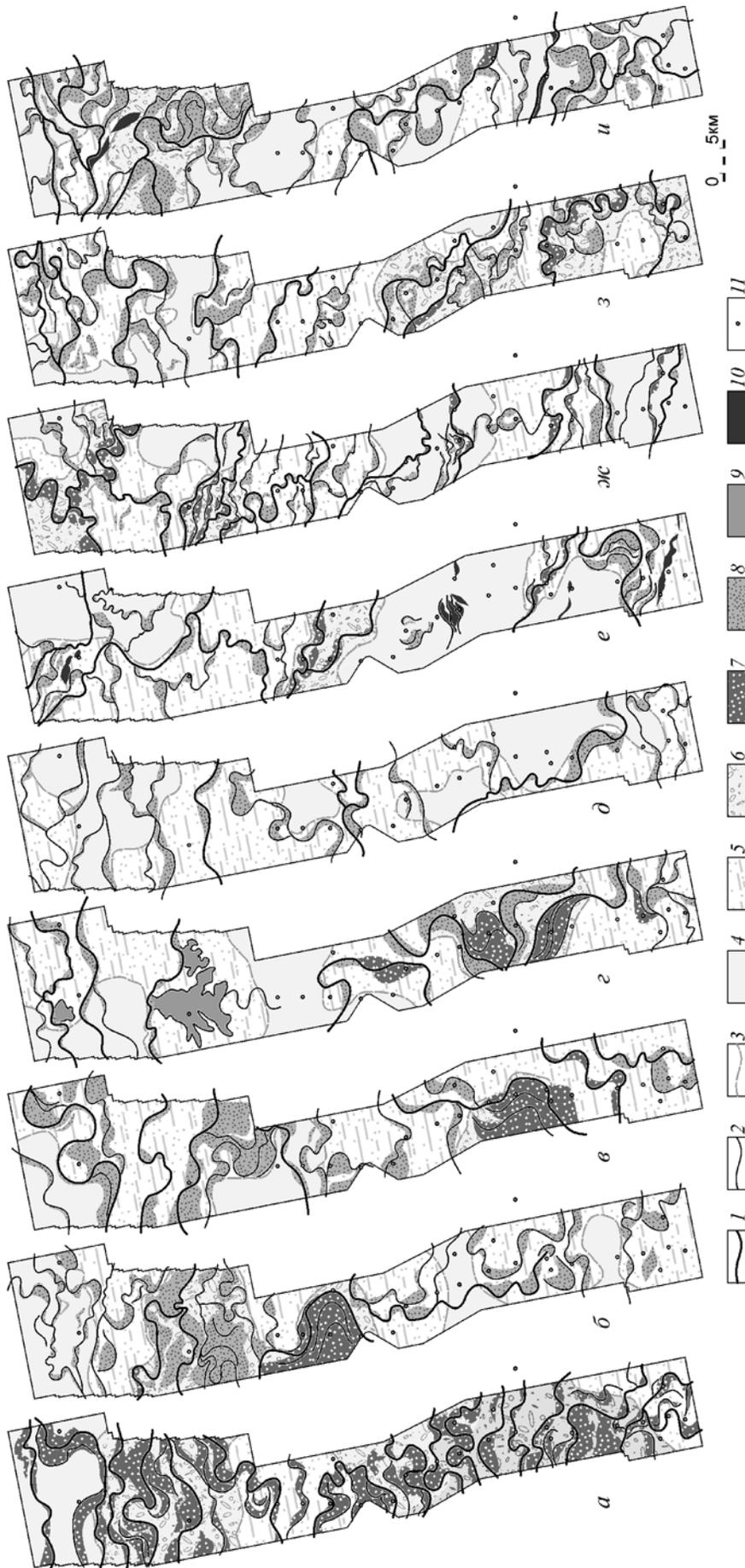


Рис. 4. Эволюция речной системы на Русско-Часельском мегаллювие в течение аптского и альбского веков, проиллюстрированная схемами литолого-фациального районирования продуктивных пластов (а — АП₆, б — ПК₂₁₋₂₂, в — ПК₁₉, г — ПК₁₇, д — ПК₁₇, е — ПК₁₆, ж — ПК₁₅, з — ПК₁₄, и — ПК₁₃): 1-2 — положение русел, диагностируемых в волновом сейсмическом поле: 1 — главные, 2 — боковые притоки; 3 — границы литолого-фациальных зон; 4-6 — литолого-фациальные зоны: 4 — внутренние поймы, 5 — внешние поймы, 6 — прирусловые отмели и речные косы; 7-10 — зоны преобладающего развития песчаников: 7 — главное русло, 8 — второстепенные русла, 9 — русла прорыва, 10 — наложенные врезы; 11 — местоположение разведочных скважин

литокласты и кристаллокласты полевых шпатов (40–45%). Литокластовый материал представлен осадочными и метаосадочными породами, очень редко присутствуют обломки эффузивов. Вверх по разрезу в составе песчаников последовательно увеличивается доля мелкозернистых и алевритистых осадков; среди песчаников появляются алевритовые и глинистые прослои. Особенности распределения песчаников на площади указывают на возможное накопление их в условиях береговых гряд и прирусловых отмелей, смещавшихся по мере изменения положения основного русла.

На большей части мегавала пласт сложен алевролитами и глинами, содержащими небольшие песчаные тела (мощность 5–7 м). Такое строение разреза характерно для тех частей речной долины, где преобладали пойменные обстановки осадконакопления. На внешней пойме боковые русла и протоки, перемещаясь, образовали протяженные покровы, состоящие из небольших, но многочисленных однообразно построенных врезов, заполненных песчаным материалом. Самые удаленные от основных русел участки аллювиальной равнины в рассматриваемое время представляли собой внутреннюю пойму с глинистой седиментацией.

Продолжавшийся рост относительного уровня моря обеспечил широкое развитие пойменных обстановок осадконакопления и для группы пластов PK_{17} . Изменение базиса эрозии, вызвавшее смещение областей накопления грубообломочного материала на восток, обеспечило формирование устойчивой глинистой (или глинисто-углистой) пачки в основании пласта PK_{17}^1 на Русско-Часельском мегавале и прилегающих территориях.

На картах сейсмофациального районирования пласта PK_{17}^2 в центральной части территории выделяется зона, в разрезах которой основную роль играют песчаные отложения руслового генезиса (рис. 4, з). Тектурные и структурные особенности песчаников, закономерности вертикального и латерального развития позволяют предположить, что большая их часть накопилась в условиях отмелей активно меандрировавшего русла, транспортировавшего основной объем обломочного материала [Sandstone..., 1982].

По отношению к более древним речным долинам крупная речная система, элементы которой видны в сейсмических атрибутах пласта PK_{17}^2 , несколько изменила направление течения, т.е. можно предположить, что река текла с юг-юго-востока на северо-запад. Последовательное заполнение речной долины отразилось сменой в ее разрезе русловых песчаников сначала алевритистыми песчаниками внешней поймы, а затем глинами с линзами углей внутренней поймы.

Вдали от основного русла подтопление территории вызвало широчайшее распространение глинистых пойм, прорезанных небольшими реками, большая часть которых относилась, вероятно, к

анастомурующему типу. Они состояли из системы ветвящихся рукавов, переносящих главным образом глинистый и алевритовый материал, а накопление песков в них лимитировалось границами основного русла. Развитие рек такого типа приурочено к заболоченным участкам, имеющим очень малый уклон поверхности. Обилие в составе пласта PK_{17}^2 глин с прослоями и линзами углей, а также «шнурковое», хорошо различимое на сейсмических атрибутах локальное распространение песка (рис. 4, з) делает не лишним основания предположение о преобладании на Русско-Часельском мегавале в это время рек анастомурующего типа.

Время отмирания речной долины фиксируется по повсеместному развитию «торфяного горизонта» (глинисто-угольный пласт в основании вышележащего пласта PK_{17}^1).

Пласту PK_{17}^1 свойствен в целом более глинистый состав слагающих образований. Судя по изменению динамических характеристик волнового поля и строению пласта в разрезах скважин, можно предположить, что весь изученный сейсмозаземленный район во время формирования этого пласта представлял собой область, достаточно удаленную от основного русла, где господствовали пойменные и (или) озерные условия осадконакопления (рис. 4, д). На фоне преобладающей глинистой седиментации выделяется система маломощных, прихотливо распространенных песчаных тел, отвечающих, по-видимому, как и в пласте PK_{17}^2 , русловым фациям небольших ветвящихся рек.

В скважинах, где песчаники присутствуют в меньшем объеме, получили развитие бурокоричневые и зеленовато-серые комковатые и горизонтальнослоистые пойменные глины и алевролиты с прослоями (до 2 м) мелкозернистых песчаников, часто обогащенные растительными детритом и содержащие многочисленные линзочки бурых углей.

В вышележащих пластах PK_{16}^2 и PK_{16}^1 преобладают глинистые отложения (рис. 4, е). Множество небольших ветвящихся рек определяет распространение маломощных (как правило, 2–3 м) песчаных инкрементов, фиксирующих смещение русел по мере развития аллювиальной равнины. Большинство крупных врезов, заполненных песчаным материалом, которые вскрыты скважинами в центральной части района, — наложенные, их пространственное положение контролируется главным образом распределением мощных толщ русловых отложений в пласте PK_{15} , а для отдельных разрезов — и в пласте PK_{14} .

В строении пласта PK_{15} роль синседиментационных песчаников существенно увеличивается, что, вероятно, было связано с изменением типа речных систем, среди которых стали преобладать меандрирующие реки с хорошо выраженными песчаными косами и береговыми грядами. Они сфор-

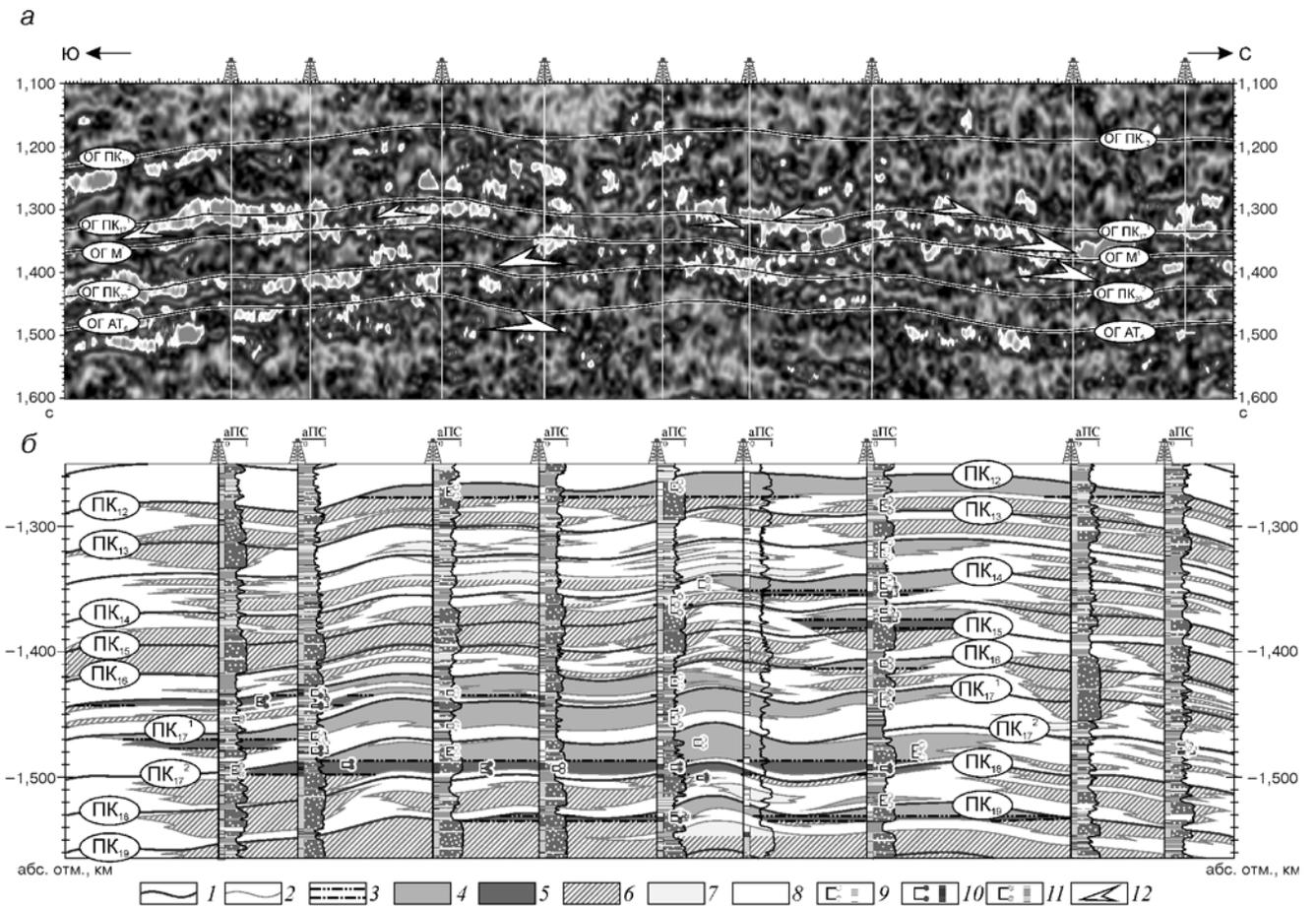


Рис. 5. Схема строения залежей в продуктивных пластах покурских отложений (а), совмещенная с сейсмическим разрезом куба ПАИ по линии разведочных скважин (б): 1–3 – границы: 1 – пласты, 2 – песчаные тела-коллекторы, 3 – уровни флюидных контактов; 4–8 – осадочные тела: 4 – газонасыщенные, 5 – нефтенасыщенные, 6 – водонасыщенные, 7 – с неясным характером насыщения, 8 – непроницаемые; 9–11 – насыщение коллекторов по результатам ГИС и гидродинамических испытаний: 9 – газонасыщенные, 10 – нефтенасыщенные, 11 – водонасыщенные; 12 – проявление газовых залежей в волновом сейсмическом поле

мировали песчаные покровы преимущественно на северо-западе изученной территории (рис. 4, ж). В ее центральной части песчаные отложения крупных (судя по глубине вреза) речных систем имеют очень ограниченное распространение и локализованы вблизи русла. На основной же территории в это время преобладала седиментация существенно глинистых осадков в пойменных условиях. Атрибуты сейсмической записи также свидетельствуют об отсутствии в этой зоне выдержанных по латерали песчаных тел.

Принятый подход к седиментационной интерпретации результатов сейсмофациального анализа также позволил обосновать области наибольшего опесчанивания разреза пластов $ПК_{14}$, $ПК_{13}^2$ и $ПК_{12}$, а кроме того, оценить возможности пространственной связи между ними (рис. 4, з, и). Полученные в результате такого анализа результаты были использованы при обосновании продуктивности залежей в пластах покурской свиты.

Начавшаяся в альбский век регрессия вызвала смещение источников сноса на северо-запад, что обеспечило седиментацию на рассматриваемом участке значительных масс грубообломочного

материала. Отсутствие выдержанных пойменных глин, способных формировать экраны, привело к резкому уменьшению углеводородной продуктивности средней части покурской свиты за счет отсутствия резервуаров.

Заключение. Геологическая модель продуктивных пластов покурской свиты, принятая при подсчете запасов и утвержденная в ГКЗ, предполагала, что залежи УВ в изучаемом разрезе относятся главным образом к пластовому, тектонически экранированному типу. Однако большая часть таких экранов не проявилась в волновом сейсмическом поле.

В предлагаемой нами модели необходимость привлечения необоснованных ограничений залежей отпала. Данные гидродинамических исследований скважин не противоречат отнесению выявленных бурением залежей нефти и газа к литологически ограниченному типу (рис. 5), характерному для отложений аллювиального генезиса.

Комплексный анализ скважинной и сейсмической информации позволил разработать седиментационную модель продуктивных отложений Русско-Часельского мегавала, необходимую для уточнения

запасов углеводородов и выбора оптимального варианта разработки залежей. Кроме того, полученные нами результаты уточняют и дополняют существовавшие до этого времени представления

о строении месторождений Русско-Часельского мегавала и позволяют обоснованно планировать работы по дальнейшему геолого-геофизическому изучению и разбурированию территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нефтегазоносные провинции СССР: Справочник / Под ред. Г.Х. Дикенштейна, С.П. Максимова, В.В. Семеновича. М.: Недра, 1983.

Позаментьер Г., Аллен Дж.П. Секвенная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 436 с.

Прогнозирование структуры и свойств природных резервуаров на основе комплексной интерпретации сейсмических и скважинных геолого-геофизических

данных // Технологии сейсморазведки. 2006. № 1. С. 69–78.

Скоробогатов В.А. Изучение и освоение углеводородного потенциала недр Западно-Сибирского осадочного мегабассейна: Итоги и перспективы // Вестник газовой науки: Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. Вып. 3(19). М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. С. 8–26.

Sandstone depositional environments / Ed. P.A. Scholle, D. Spearing. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1982. 410 p.

Поступила в редакцию
23.03.2015