

УДК 553.982.2

Медведев А.Л.Халлибуртон Интернэшнл Инк. (филиал в России), Москва, amedvedev@lgc.com

АПТСКИЕ ВРЕЗАННЫЕ РЕЧНЫЕ ДОЛИНЫ КАМЕННОЙ ПЛОЩАДИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

Врезанные речные палео-долины, образовавшиеся в результате относительного падения уровня моря, являются индикатором регионального несогласия, а также генетически ассоциированных осадочных систем дельты, береговой линии низкого стояния, фанов дна и склона бассейна, обладающих вероятной нефтегазоносностью. Поэтому выявление даже небольшого фрагмента врезанных речных палео-долин может иметь региональные палеогеографические, стратиграфические и нефтегазопоисковые следствия. Идентификация аптских врезанных речных долин Каменной площади Западной Сибири послужила ключом к выявлению значительного относительного падения уровня моря и ассоциированного с ним регионального несогласия - секвенной границы I типа, а также прогнозу вероятных нефтегазоперспективных объектов, связанных с отложениями периода низкого стояния.

Ключевые слова: *палео-долины, несогласие, секвенная граница I типа, викуловская свита, апт, Красноленинский свод, Западная Сибирь, нефтегазоносность.*

Введение

Нижнемеловые отложения викуловской свиты являются важным продуктивным объектом Красноленинского свода Западной Сибири. Нефтеносность связана преимущественно с мелководно- и прибрежно-морскими песчаниками пластов ВК₁, ВК₂ и ВК₃, характеризующимися значительной протяженностью. Местами выдержанный стратифицированный разрез нарушается, что ранее объяснялось латеральным литолого-фациальным замещением, либо врезанием течений или «подводных русловых потоков». Несмотря на разные представления о строении отложений, существовала параллельно-пластовая модель викуловского резервуара, в соответствии с которой продуктивные пласты прослеживались повсеместно.

Нарушение выдержанного характера викуловских отложений отчетливо проявляется на Каменной площади, приуроченной к одноименной вершине центральной части Красноленинского свода (рис. 1). По данным сейсморазведки, ГИС и керна аномалии продуктивного разреза были идентифицированы как комплекс заполнения врезанных речных долин, образовавшихся в результате относительного падения уровня моря [Медведев, Лопатин, Зверев, 2006]. Объекты этого типа имеют важное стратиграфическое, экономическое и прогностическое (нефтепоисковое) значение, что обуславливает актуальность изучения врезанных долин как для локального поиска залежей литологического и структурно-литологического типов, так и для регионального прогноза

нефтегазоносных осадочных систем, ассоциированных с относительным падением уровня моря.

Секвенс-стратиграфическая и петрофизическая модели, а также особенности разработки продуктивных отложений викуловской свиты Каменной площади в связи с выявлением врезанных долин рассматривались в 2006-2009 гг. А.Л. Медведевым, А.Ю. Лопатиным, Ю.В. Масалкиным, Е.Б. Беспаловой, Ч.Р. Хендфордом и др. В данной статье главное внимание уделено региональным аспектам новых данных: палеогеографическим, стратиграфическим и нефтегазопроисковым.

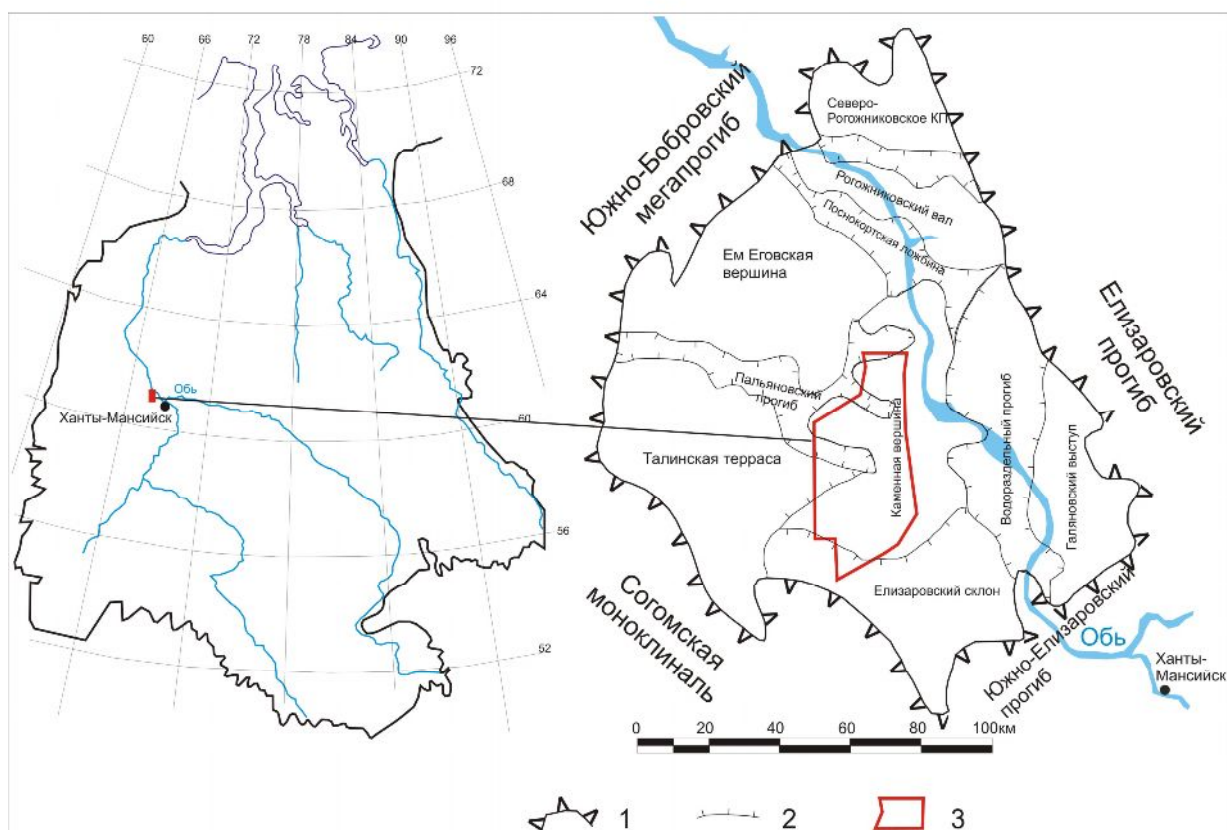


Рис. 1. Положение Каменной площади в пределах Красноленинского свода (Западная Сибирь) 1 - граница Красноленинского свода; 2 - структурные элементы Красноленинского свода [Тектоническая карта..., 1998]; 3 - контур исследуемого участка.

Значение врезанных долин, образовавшихся в результате относительного падения уровня моря, при изучении осадочных систем и прогнозе нефтегазоносности

Континентальные перерывы, связанные с относительным падением уровня моря, во многих случаях трудны для выявления. Почвы, маркирующие поверхность несогласия на палео-междуречьях, часто эродируются при последующей трансгрессии и поверхность перерыва, залегающая в толще морских отложений, трудноопределима даже в керне, не говоря уже о менее разрешенных данных ГИС и сейсморазведки. Важным, а, часто, единственным выраженным признаком относительного падения уровня моря являются речные долины, врезанные в морские осадки.

Относительное падение уровня моря сопровождается выходом на дневную поверхность берегового склона и шельфа, и размывом морских отложений речными потоками. Врезанные речные долины представляют собой эрозионное несогласие, которое на междуречьях переходит в поверхность субаэральной экспозиции с почвами или горизонтами корней, а в бассейне - в субаквальную поверхность несогласного залегания и далее - в коррелирующую согласную поверхность. Таким образом, в ответ на относительное падение уровня моря формируется полигенетическая стратиграфическая поверхность - *секвенсная граница 1 типа* [Van-Wagoner et al., 1990], значимым элементом которой является регионально картируемое несогласие. Между двумя секвенсными границами заключен комплекс генетически связанных осадков, образовавшихся в течение цикла относительных колебаний моря, - секвенс. Выделение секвенсных границ имеет значение как для стратиграфического расчленения осадочной толщи, так и для прогнозирования распространения песчаных тел. Врезанные речные долины являются важным индикатором секвенсной границы 1 типа и представляют собой ее часть на участке субаэрального эрозионного несогласного залегания - этим определяется их стратиграфическое значение (рис. 2).

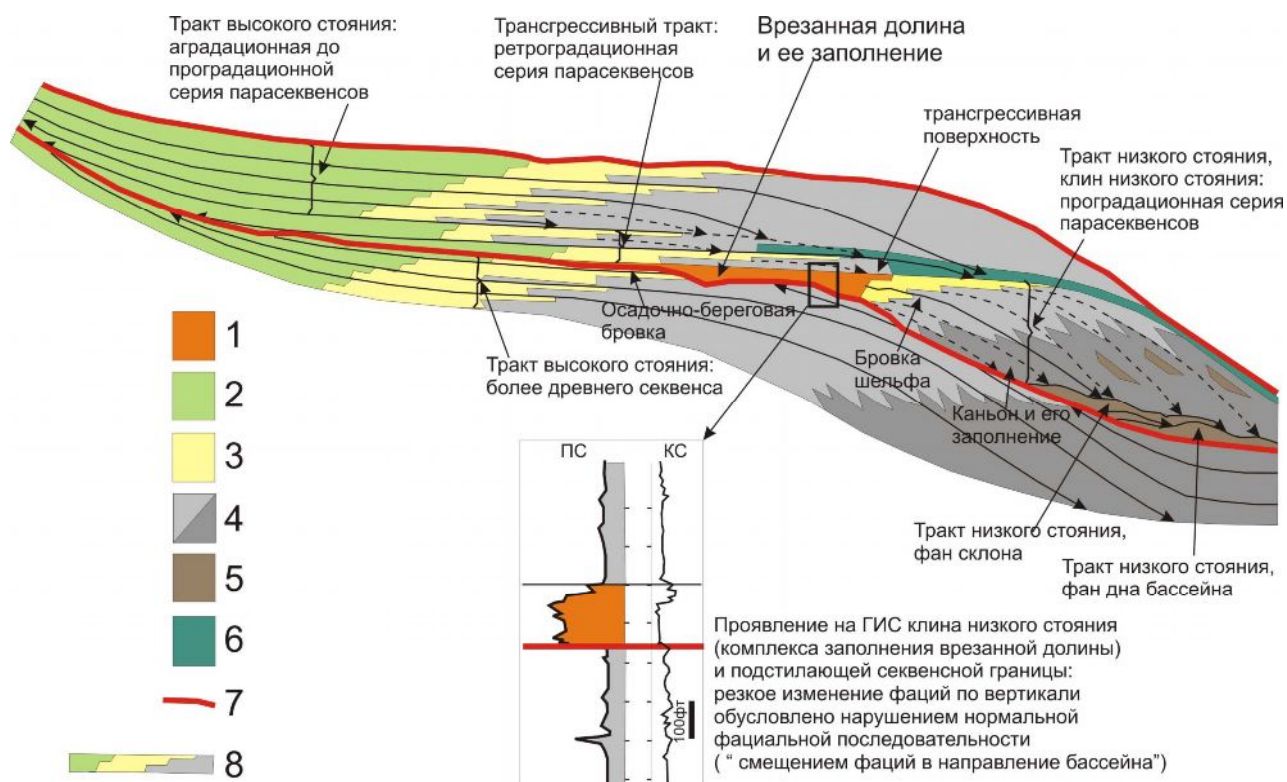


Рис. 2. Схема напластования в секвенсе 1 типа, образовавшемся в бассейне с перегибом шельфа [Van-Wagoner et al., 1988]

1 – аллювиальные или эстуариевые песчаники комплекса заполнения врезанных долин; 2 – песчаники и глины прибрежной равнины; 3 – мелководно-морские песчаники; 4 – глины шельфа и склона с тонкими простоями песчаников; 5 – песчаники подводных фанов, русел и прирусловых валов; 6 – конденсированные отложения; 7 – секвенсная граница 1 типа; 8 – парасеквенс.

Осадочный материал, транспортируемый реками, а также извлеченный в результате эрозионной выработки врезанных долин, выносится в область береговой линии низкого стояния и склона шельфа, где формируются дельты, фаны дна и склона бассейна (рис. 2, 3). Комплекс заполнения врезанных долин, как правило, характеризуется повышенной песчаностью и имеет благоприятные условия для сохранения и образования литологических ловушек углеводородов при перекрытии шельфовыми глинами в ходе последующей трансгрессии. По мнению Ван-Вагонера и др. (1990) с заполнением врезанных долин связаны лучшие резервуары в шельфовой части секвенса. Таким образом, погребенные врезанно-долинные системы обладают высоким потенциалом нефтегазоносности, а также являются *индикатором* ассоциированных с ними нефтегазоперспективных осадочных систем. В этом заключается их экономическое и прогностическое (нефтегазопроисловое) значение.

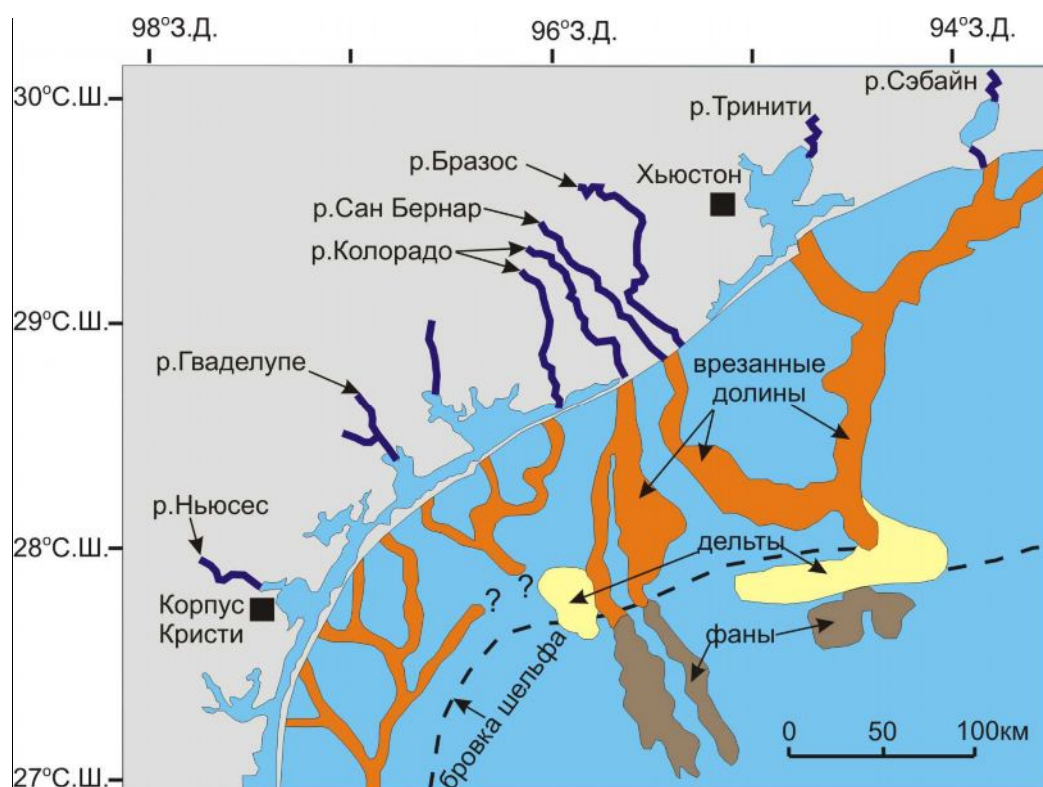


Рис. 3. Осадочные системы низкого стояния моря (врезанные долины, дельты, фаны), образовавшиеся на побережье Мексиканского залива в результате относительного падения уровня моря, вызванного последним покровным оледенением [цит. по Blum, Törnqvist, 2000]

При рассмотрении врезанных долин в региональном масштабе важно, что даже небольшой фрагмент врезанной долины, при установлении связи ее образования с относительным падением уровня моря, может служить ключом к выявлению:

1. регионального несогласия;
2. сети врезанных долин и генетически ассоциированных осадочных систем дельт, береговой линии низкого стояния, фанов дна и склона бассейна.

Врезанные речные долины Каменной площади

В продуктивных отложениях викуловской свиты по данным сейсморазведки, ГИС и керна выявлены две врезанные речные долины: Сеульская, пересекающая всю площадь с юга на север, и небольшой фрагмент Кальмановской в северной части (рис. 4). Речной эрозией срезаны пласты ВК₂-ВК₅, пласт ВК₁ является покровным.

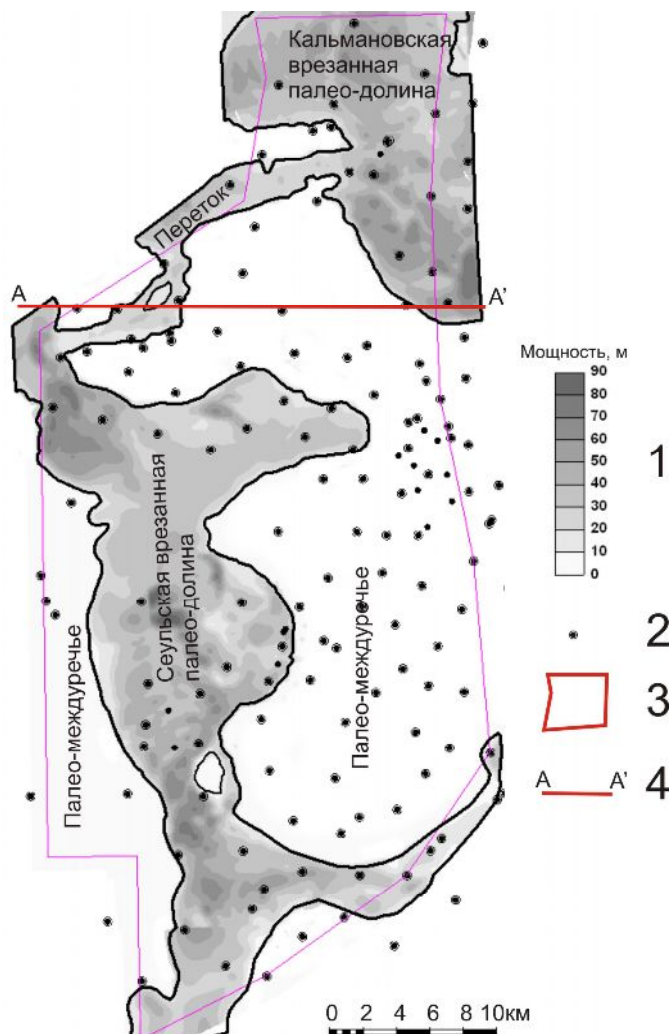


Рис. 4. Аптские врезанные речные долины Каменной площади

1 – шкала толщин комплекса заполнения долин; 2 – поисковые и разведочные скважины; 3 – контур исследуемой площади; 4 – положение сейсмического разреза, иллюстрируемого на рис. 6.

Общая протяженность долин в пределах лицензионного участка более 80 км, ширина от 2 до 10 км, глубина достигает 90 м (ранее, по данным сейсморазведки 2D, максимальная мощность комплекса заполнения определялась в 60 м [Медведев и др., 2006, 2009]).

Согласно региональным палеогеографическим данным [Литолого-палеогеографические карты..., 1974] в позднем апте¹ в западной части Западно-Сибирского бассейна господствовали мелководно-морские условия. Площадь исследования в это время

¹ Возраст верхневикуловской подсвиты, включающей продуктивные пласты ВК₁-ВК₃, принят позднеаптским в [Решения..., 1991].

располагалась в центральной части мелководного морского внутреннего бассейна с пониженной соленостью, периодически соединявшегося через узкий меридионально вытянутый пролив, расположенный в 400 км восточнее, с открытым бассейном на севере. Седиментация в аптском море предполагалась непрерывной и строение викуловской свиты принято согласным, что отображено в региональных стратиграфических схемах [Решения..., 1991] (рис. 5).

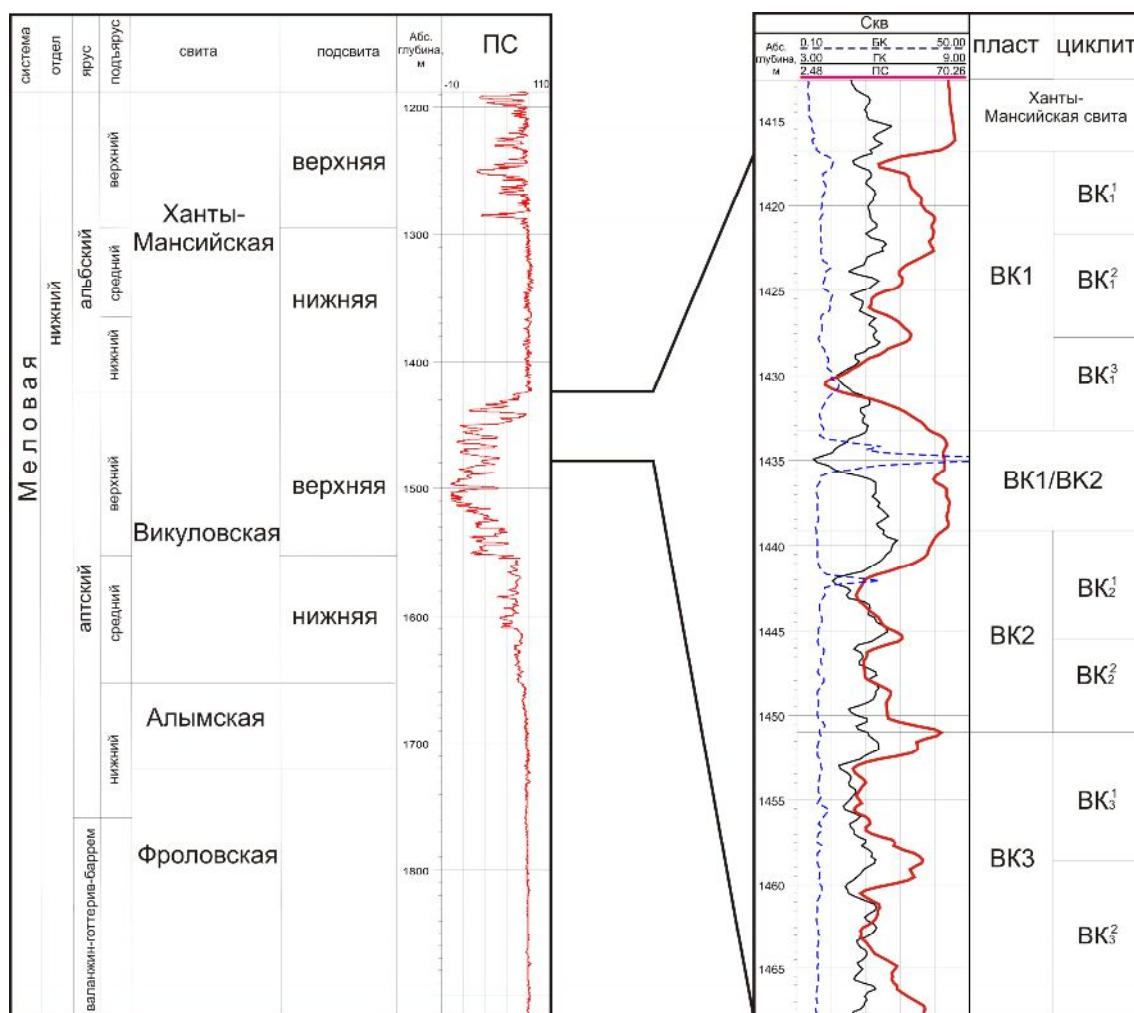


Рис. 5. Фрагмент стратиграфической схемы нижнемеловых отложений Западной Сибири [Решения..., 1991] и номенклатура продуктивных пластов викуловской свиты

Некоторые исследователи выделяют в верхней части викуловской свиты трансгрессивное несогласие или региональную поверхность перерыва [Нежданов, 2003; Карогодин, 2006]. Однако врезанные палео-долины, ассоциированные с поверхностью перерыва, не отмечаются.

Выявление врезанных речных долин на Каменной площади не согласуется с представлениями о непрерывной седиментации в центральной части мелководного бассейна в позднем апте, и предоставляет новые фактические данные о положении, природе и морфологии поверхности несогласия.

Идентификация относительного падения уровня моря и ассоциированного несогласия

Врезанные долины Каменной площади приурочены к одному стратиграфическому уровню – поверхности несогласия, разделяющей Ханты-Мансийско-Уватский и Алымско-Викуловский супер-секвенсы (циклиты 2 порядка) (рис. 6). Несогласие, прослеживаемое на значительной части Красноленинского свода, характеризуется выраженным эрозионным рельефом. Речной эрозии подверглись дистальные штормовые дельтовые отложения, аккумуляровавшиеся при глубине воды около 10...30 м. Глубина врезания достигает 90 м. Общая выявленная протяженность долин в пределах Красноленинского свода более 200 км. Реки не могут углублять свое русло существенно ниже базиса эрозии на значительном протяжении. Приуроченность врезанных долин к одной протяженной поверхности, обладающей значительным эрозионным рельефом и срезающей дистальные дельтовые осадки, свидетельствует о значительном относительном падении уровня моря.

Секвенсная граница 1 типа в продуктивных викуловских отложениях впервые идентифицирована Р. Хэндфордом [Кузина, Хэндфорд, 2007] на Каменной площади. В контуре врезанных долин поверхность несогласия срезает отложения пластов ВК₂-ВК₅, отделяя их от более молодых осадков заполнения, а вне врезанных долин, залегает в нижней части пласта ВК₁.

Данные сейсморазведки 3D, позволили выявить уникальные по детальности признаки субаэральной эрозии меандрирующими реками в пределах врезанных долин (меандровые борозды и гряды, локальные переуглубления, дугообразные сегменты бортов, наличие притоков, эрозионные останцы, каналы-протоки, расширения и сужения долины) и охарактеризовать геоморфологию позднеаптского несогласия (рис. 7). На рис. 7 представлена карта временных толщин между отражением M₁' (условно кровля первого покровного циклита ВК₁³) и отражением M₁_SB (поверхность несогласия) (рис. 8), полученная по данным сейсморазведки 3D. В контуре врезанных долин карта отображает палео-рельеф, сформированный речной эрозией при относительном падении уровня моря и в период низкого стояния, а на палео-междуречьях – плоский рельеф поверхности волновой эрозии, образовавшейся в результате последующей трансгрессии моря.

Важность изучения поверхностей несогласий для палеогеографических реконструкций отмечал Л.Б. Рухин: «Поверхности перерывов... несут на себе следы тех событий, которые происходили во время их формирования... Наблюдение над перерывами нередко дает больше данных для палеогеографических реконструкций, чем изучение самих пород, разделенных этими перерывами» [Рухин, 1962, с. 120]. В случае Каменного месторождения морфология поверхности несогласия, совместно с данными керна, свидетельствует о его континентальном генезисе.

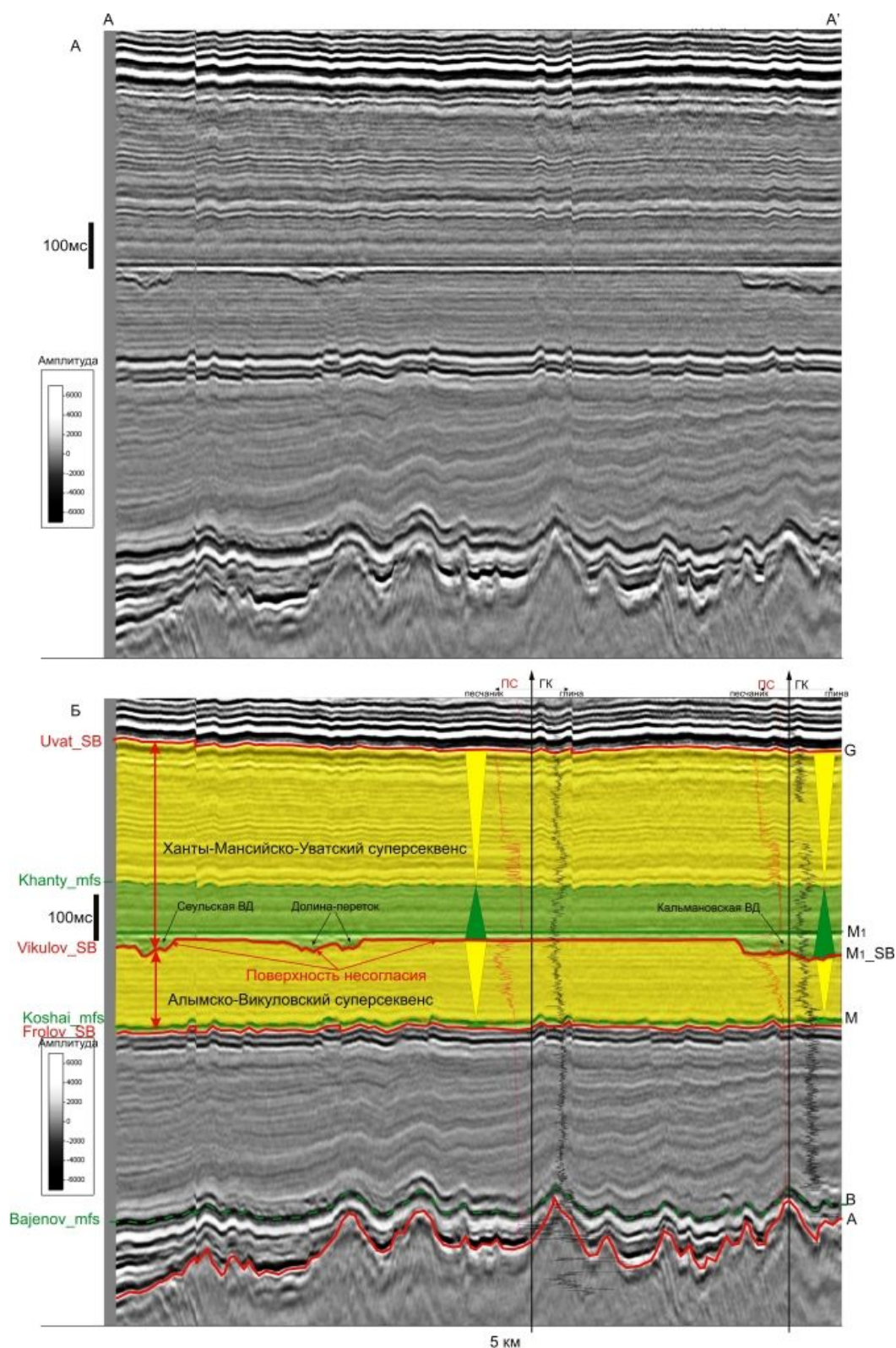


Рис. 6. А – Временной сейсмический разрез 3D; Б – Геологическая интерпретация сейсмического разреза

Условные обозначения к рис. 6: Слева от разреза обозначены границы суперсеквенсов - SB (sequence boundary) и поверхности максимального затопления - mfs (maximum flooding surface). Справа обозначены опорные отражающие горизонты: G - кровля уватской свиты, M₁ - кровля викуловской свиты (соответствует поверхности максимального затопления VKI_mfs 3 порядка), M_{1_SB} – поверхность позднеаптского несогласия, M – подошва кошайской свиты, B - кровля баженовской свиты и A - кровля доюрского основания. Сейсмический разрез выровнен по кровле викуловской свиты, залегающей на временной отметке около 1400мс. Положение профиля см. на рис.4.

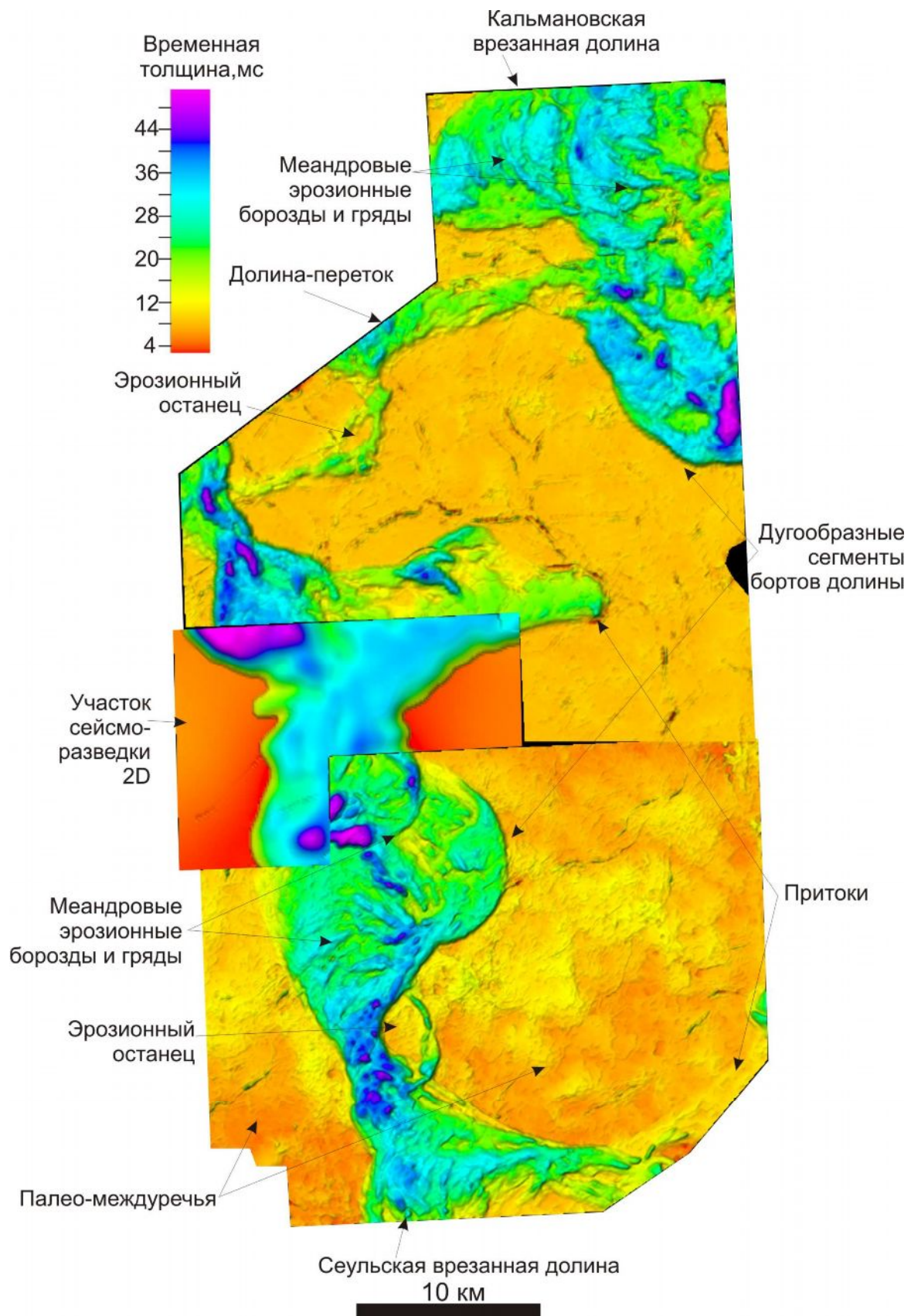


Рис. 7. Геоморфологическая карта позднеаптского эрозионного несогласия (время накопления первого покровного циклита $ВК_1^3$)

Цветовая палитра участка сейсморазведки 2D соответствует цветовой шкале приблизительно

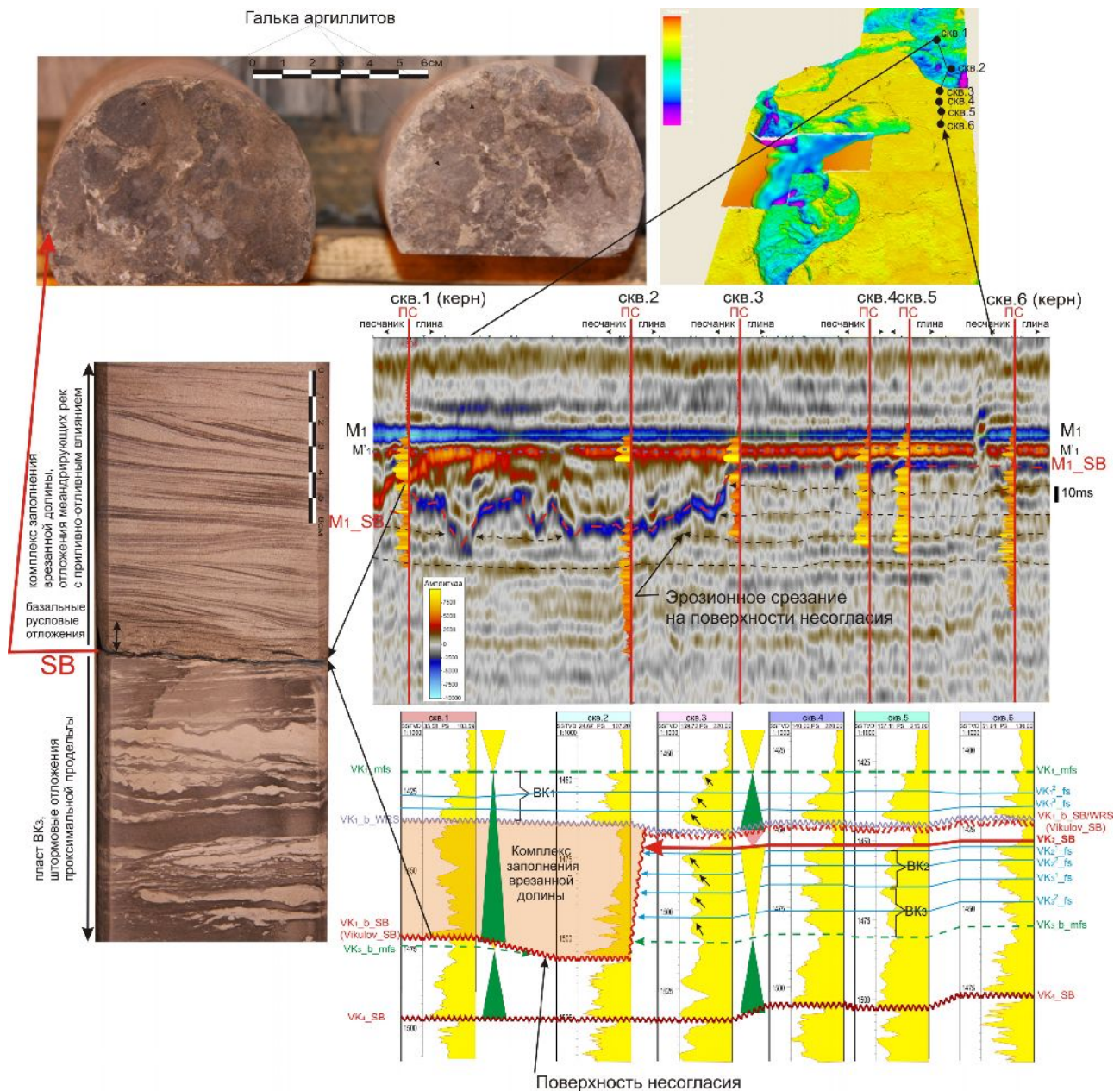


Рис. 8. Эрозионное несогласие по данным ядра, сейсмозвездки 3D и ГИС

На профиле скважин показаны стратиграфические границы секвенс 3 порядка. WRS (wave ravinement surface) - поверхность волновой эрозии; fs (flooding surface) - поверхность затопления. Остальные условные обозначения см. на рис. 6.

В результате седиментологических исследований ядра установлено, что в контуре врезанных долин эрозионное несогласие разделяет эстуариевые осадки заполнения с базальными русловыми отложениями в основании и размытые дистальные штормовые дельтовые циклиты. Контакт комплекса заполнения врезанных долин с вмещающими породами резкий эрозионный, слабонаклонный (в пределах ширины ядра), с незначительным рельефом. К эрозионной границе приурочен тонкий (около 1 см) слой базальных русловых отложений (*basal channel lag*), представленный крупно-среднезернистым песчаником с углефицированными фрагментами растений и плоскими

окатанными гальками аргиллита, очевидно, вымытыми из подстилающих отложений (рис. 8). Непосредственное, без промежуточных фаций, залегание осадков меандрирующих рек с приливно-отливным влиянием на отложениях продельты обусловлено относительным падением уровня моря. Подобное нарушение нормальной фациальной последовательности является важным идентификационным признаком секвенной границы 1 типа. Поверхность несогласия определена по данным сейсморазведки, ГИС и керна (рис. 8).

Вне врезанных долин - в области палео-междуречий - субаэральное несогласие должно локализоваться в кровле карбонатизированной алеврито-глинистой перемычки между пластами ВК₁ и ВК₂, однако оно было эродировано в ходе последовавшей трансгрессии. На этих участках секвенная граница представлена поверхностью волновой эрозии. По данным керна это резкая граница, разделяющая отложения заполнения (в контуре врезанных долин) или нестратифицированные осадки форсированной регрессии карбонатизированной алеврито-глинистой перемычки ВК₁/ВК₂ (в области палео-междуречий) от вышезалегающих стратифицированных дельтовых отложений циклита ВК₁³ с признаками волновой переработки и биотурбацией (Planolites, Chondrites и др.) (рис. 9 Ша, б). В некоторых скважинах к этой границе приурочены интракласты аргиллитов, вымытые из нижележащих пород.

Фациальная модель продуктивных отложений викуловской свиты с основными секвенс-стратиграфическими границами представлена на рис. 9.

Таким образом, следующие признаки позволяют идентифицировать **позднеаптское относительное падение уровня моря и ассоциированное с ним эрозионное несогласие, (секвенсную границу 1 типа):**

- нарушение нормальной регрессивной последовательности фаций;
- палео-геоморфология врезанных долин с признаками субаэральной эрозии меандрирующими реками дистальных дельтовых отложений;
- приуроченность врезанных долин к одной протяженной стратиграфической поверхности;
- значительный рельеф эрозионной поверхности (до 90 м), срезающей несколько осадочных циклитов.

Амплитуда и природа относительного падения уровня моря

Амплитуда относительного падения уровня моря может быть оценена по изменению уровня моря относительно поверхности осадконакопления высокого стояния (рис. 10). Известно, что штормовые отложения, к которым относятся пласты ВК₂ и ВК₃, накапливаются ниже базиса

регулярных волн, но выше базиса штормовых волн, на глубинах порядка 10...30 м [Sedimentary Environments..., 1996, Sahagian et al., 1996].

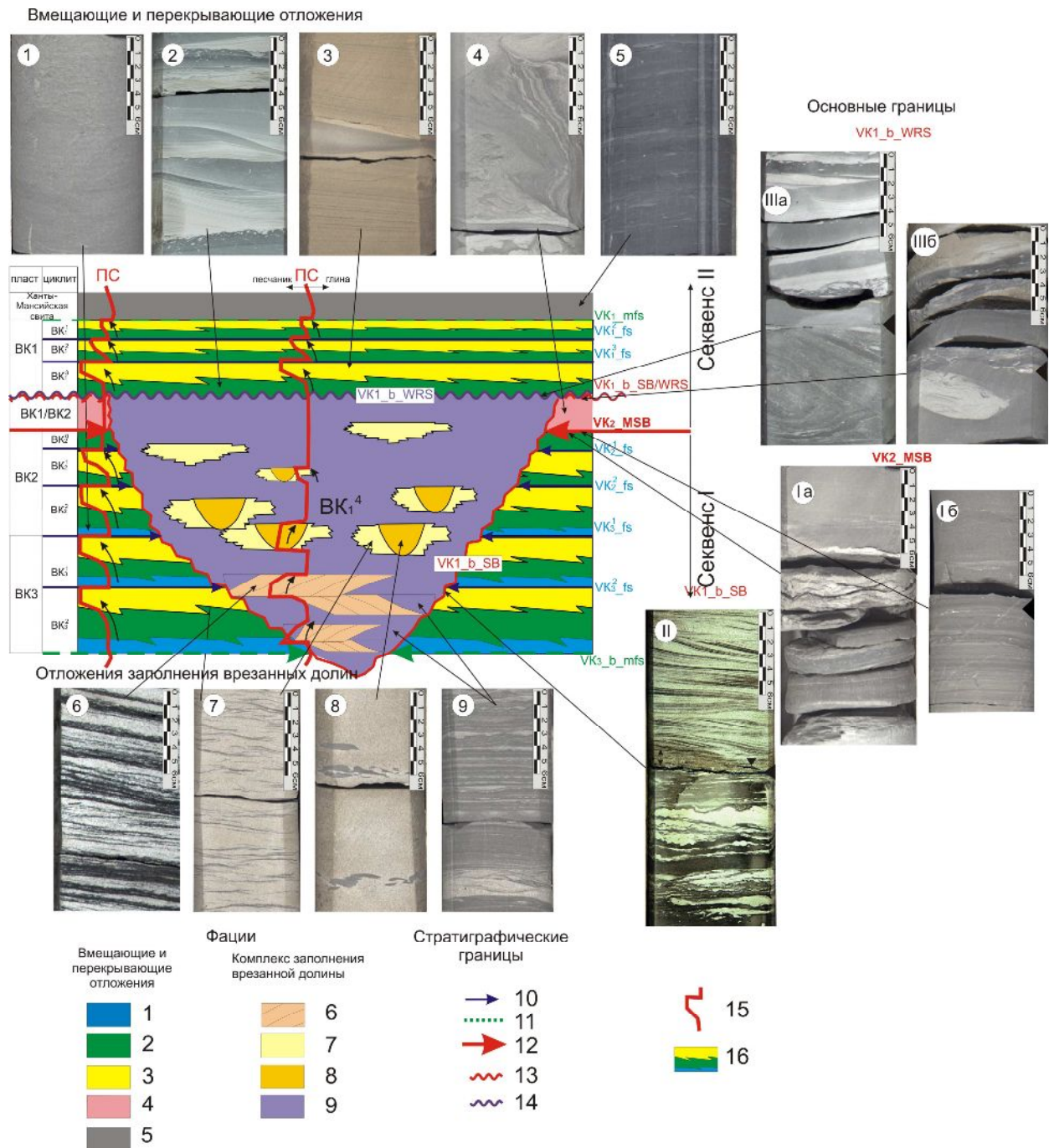


Рис. 9. Фациальная модель продуктивных отложений викуловской свиты с основными секвенс-стратиграфическими границами

1 – алевритистые аргиллиты продельты; 2 – аргиллиты с линзами алевролитов проксимальной продельты; 3 – алевролиты и песчанистые алевролиты дистального фронта дельты; 4 – глинистые алевролиты продельты, образовавшиеся при форсированной регрессии; 5 – аргиллиты шельфа; 6 – песчаники прирусловых отмелей (баров) меандрирующих рек с приливно-отливным влиянием/приливно-отливных каналов; 7 – песчаники проксимального фронта дельты головной части эстуария – устьевых баров; 8 – песчаники распределительных каналов; 9 – глинистые отложения дистального фронта дельты головной части эстуария/поймы/старичьи; 10 – поверхность затопления; 11 – поверхность максимального затопления; 12 – согласная часть «главной» секвенсной границы 1 типа (Ia, б); 13 – эрозионная часть секвенсной границы 1 типа (II); 14 – поверхность волновой эрозии (IIIa, б); 15 – образ каротажной диаграммы ПК; 16 – дельтовый циклит (парасеквенс).

То есть, во время образования осадков высокого стояния, уровень моря находился на 10...30 м выше поверхности осадконакопления. В период низкого стояния глубина размыва достигала 90 м, т.е. базис эрозии (приблизительно, уровень моря) находился, как минимум, на 90 м ниже поверхности осадконакопления высокого стояния. Таким образом, амплитуда относительного падения уровня моря составляет по меньшей мере 100...120 м (90 м+10...30 м). Принимая в расчет часть разреза, эродированного в процессе трансгрессии, эта величина может быть на 5...10 м больше.

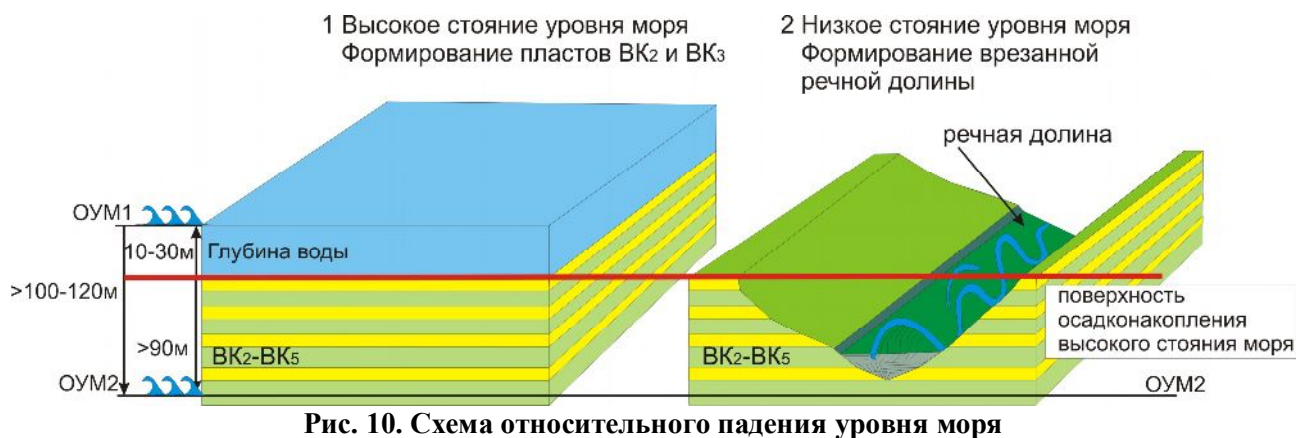


Рис. 10. Схема относительного падения уровня моря

На эвстатических диаграммах [Haq et al., 1988, Sahagian et al., 1996] (рис. 11) выявленное событие соотносится с единственным позднеаптским пиком понижения уровня моря, амплитудой, соответственно, около 30 м или 50 м.

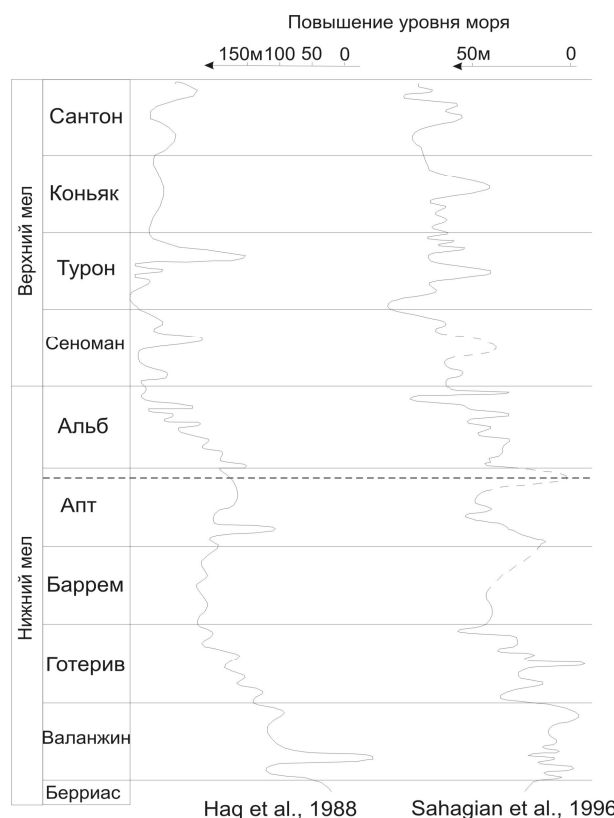


Рис. 11. Эвстатические кривые изменений уровня моря в меловом периоде [Haq et al., 1988; Sahagian et al., 1996]

На кривой Sahagian et al., построенной по данным Русской и Сибирской платформ и более полно учитывающей тектонические и седиментационные процессы, интересующий участок показан пунктиром из-за трудностей точной оценки. Амплитуда события может быть как на 10...20 м больше, так и меньше (т.е. 50 ± 20 м). Таким образом, эвстатическая составляющая позднеаптского относительного падения уровня моря оценивается в 30...70 м.

Критерии регионального проявления относительного падения уровня моря

Масштаб проявления относительного падения уровня моря зависит от ряда факторов: тектонической стабильности (наличие локальных дифференцированных тектонических движений), рельефа прибрежной области и величины относительного падения уровня моря (чем более пологий рельеф и чем больше амплитуда относительного падения, тем большая площадь была выведена из-под уровня моря).

Образование осадочного комплекса Западно-Сибирской плиты происходило в тектонически относительно стабильных условиях бассейна меж- и внутриконтинентальных надрифтовых депрессий [Шеин, Клещев, 1984]. В течение мелового периода бассейн испытывал общее прогибание, ось бассейна была ориентирована субмеридионально и смещена к западу (располагаясь в непосредственной близости от Каменной площади).

Согласно палеогеографическим данным [Литолого-палеогеографические карты..., 1974] осадконакопление в позднем апте происходило в условиях пологого рельефа низменной аккумулятивной равнины с мелководным бассейном, обрамленной с востока, юга и запада более возвышенными областями.

Значительное относительное падение уровня моря в тектонически стабильных условиях крайне пологого и мелководного Западно-Сибирского бассейна седиментации должно было привести к выходу на дневную поверхность огромной площади дна внутреннего водоема.

Признаки регионального проявления относительного падения уровня моря

Проявлением регионального характера относительного падения уровня моря являются врезанно-долинные системы Красноленинского свода, а также, вероятно, русловые образования викуловской свиты Приобского месторождения и эрозия аптской части разреза Мессояхской гряды.

Система врезанных долин Красноленинского свода

Сеульская и Кальмановская долины Каменной площади являются фрагментами разветвленной долинной сети, выявленной протяженностью более 200 км. Она охватывает значительную часть Красноленинского свода и простирается за его пределы в область Согомской моноклинали (рис. 12). Установлены продолжения Сеульской врезанной долины

в западном и южном направлениях - на Талинскую и Ем-Еговскую площади [Кузина, Хэндфорд, 2007; Белоусов, Нукалов, Хамитуллин, 2008].



Рис. 12. Основные структурные элементы Красноленинского свода [Тектоническая карта..., 1998] с контуром позднеаптской системы врезанных долин [Белоусов, Нукалов, Хамитуллин, 2008] и положением современной долины р. Обь

1 – контур исследованного участка; 2 – позднеаптские врезанные долины; 3 – современная долина р. Обь. Условные обозначения см. на рис. 1.

Небольшой участок Кальмановской врезанной долины протягивается на Восточно-Каменную площадь. Сеть врезанных долин приурочена к одному стратиграфическому уровню – поверхности несогласия в основании пласта ВК₁ и является частью секвенсной границы 1 типа.

Система врезанных долин Красноленинского свода характеризуются выраженной ортогональной морфологией. Положение долин контролируется основными структурными элементами свода. Пальяновский прогиб контролирует западную ветвь долинной сети, а ортогональный изгиб южной ветви приурочен к южному выступу Талинской террасы.

Сопоставление фрагмента Кальмановской врезанной палео-долины с долиной современной реки Обь показывает их хорошее совпадение, а отдельных частей Сеульской врезанной долины с положением современных левых притоков Оби (см. рис. 12). В частности северный (Ендырский) левый приток хорошо совпадает с долиной-«перетоком» между Сеульской и Кальмановской долинами, а южный левый приток (р. Сеуль), «накладывается» на правый приток Сеульской врезанной долины. Отчасти положение современной долины р. Обь в пределах Красноленинского свода контролируется положением Поснокортской ложбины и Водораздельного прогиба.

Совпадение элементов древней и современной дренажной сети свидетельствует о долговременном структурном контроле заложения речных долин и позволяет:

- прогнозировать развитие Кальмановской палео-долины в пределах других отрицательных структурных элементов Красноленинского свода: Поснокортской ложбины и Водораздельного прогиба, в контурах, близких положению современной долины р. Обь.
- предположить, что Кальмановский участок врезанной долины является фрагментом долины главной водной артерии Западно-Сибирского бассейна - палео-Оби, тогда как выявленная на данный момент более протяженная Сеульская долина имеет подчиненное значение. В пользу этого заключения говорит и большая ширина Кальмановской долины, предполагающая ее более высокий ранг.

Вероятно, на Каменной и Восточно-Каменной площадях обнаружен только небольшой фрагмент главной долинной системы палео-Оби - нефтеперспективного объекта регионального масштаба.

На основании анализа вещественного состава отложений заполнения (в частности, по менее зрелому минеральному составу песчаников), установлено, что Сеульская долина относится к *долинам предгорий* [Zaitlin et al., 1994]. Кальмановская врезанно-долинная система, по-видимому, также имеет значительную протяженность. Это обуславливает перспективность поиска продолжений обеих долин.

Вероятно, следами позднеаптского падения уровня моря являются также отложения речных русел, выявленные по данным сейсморазведки 3D в пластах ВК₁ и ВК₂ викуловской свиты Приобского месторождения во Фроловской мегавпадине) [Нежданов, 2000; Выявление новых типов...]. Ширина русловых образований, имеющих характерные извилистые очертания и притоки, составляет 150-200 м. Каротажные диаграммы ПС в интервале пластов ВК₁ и ВК₂ характеризуются как трангрессивной, так и регрессивной направленностью.

Проявлением относительного падения уровня моря в аптском веке является также эрозия значительной части разреза в пределах Мессояхской гряды [Рудкевич и др., 1988].

Палеогеографические условия в период формирования комплекса заполнения врезанных долин

Общая последовательность образования продуктивных пластов ВК₁-ВК₃ и комплекса заполнения врезанных долин в связи с относительными колебаниями уровня моря представляется следующей:

1. Высокое стояние уровня моря, накопление пластов ВК₂ и ВК₃ (рис. 13);
2. Относительное падение уровня моря, речная эрозия вышедших на дневную поверхность дельтовых и морских осадков с образованием врезанных долин (рис. 14);
3. Начало относительного подъема уровня моря, затопление врезанных речных долин и превращение их в эстуарии. Накопление эстуариевых отложений заполнения;
4. Дальнейший относительный подъем уровня моря, накопление ретроградационной последовательности покровных дельтовых циклитов ВК₁³, ВК₁² и ВК₁¹;
5. Максимальное затопление с формированием темно-серых аргиллитов с раковинами двусторчатых и брюхоногих моллюсков в основании ханты-мансийской свиты.

Основные стадии изменения относительного уровня моря показаны на рис. 15.

Литолого-палеогеографическая карта Западно-Сибирской равнины на позднеаптское время [Литолого-палеогеографические карты..., 1974] отображает преобладающие обстановки осадконакопления за относительно большой временной интервал. Седиментологические исследования керн Каменной площади показали идентичность штормовых дельтовых отложений пластов ВК₃, ВК₂ и ВК₁ (с признаками увеличения мористости в верхней части пласта ВК₁), накапливавшихся при глубине воды около 10-30 м. По-видимому, береговая линия в это время располагалась существенно ближе к району исследования и внутренний бассейн занимал меньшую площадь, по сравнению с тем, что показано на палеогеографической карте. Карты также не дают представления о палеогеографической обстановке низкого стояния моря - периода, который имеет важное стратиграфическое и нефтегазопромысловое значение.

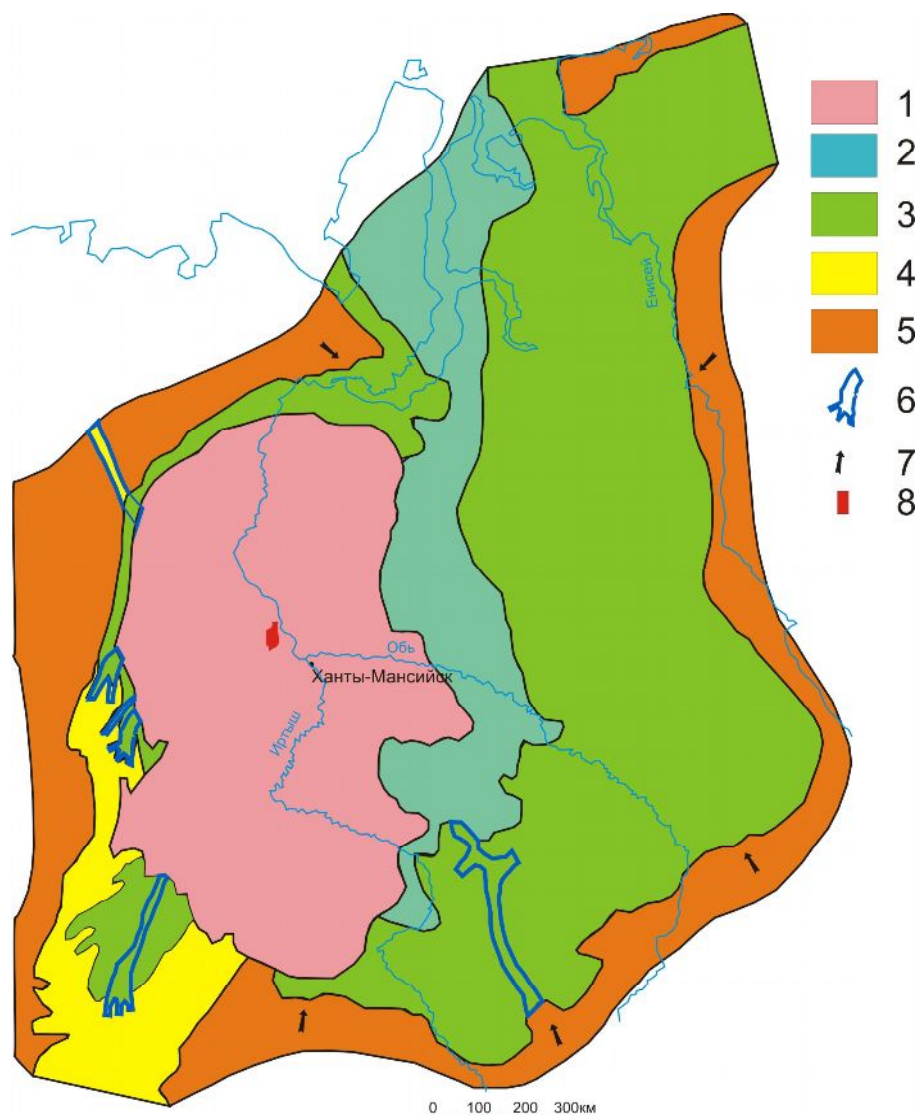


Рис. 13. Палеогеографическая карта позднего апта Западной Сибири
[Литолого-палеогеографические карты..., 1974]

1 - мелкое внутреннее море с пониженной соленостью; 2- равнина прибрежная, временами заливавшаяся морем; 3 - равнина низменная аккумулятивная; 4 - равнина денудационно-аккумулятивная; 5 - равнина возвышенная; 6 - речные долины; 7 - главные направления сноса осадочного материала; 8 - контур Каменной площади.

На основе установленных признаков относительного падения уровня моря, а также, используя определения обстановок осадконакопления продуктивных отложений викуловской свиты Каменной площади, была осуществлена палеогеографическая реконструкция на время низкого стояния.

Маловероятно, что после столь амплитудного относительного снижения уровня моря морской бассейн занимал значительную площадь или вообще продолжал существовать (в непосредственной близости от центральной части внутреннего моря его осушившееся дно возвышалось над местным базисом эрозии на 90 м).

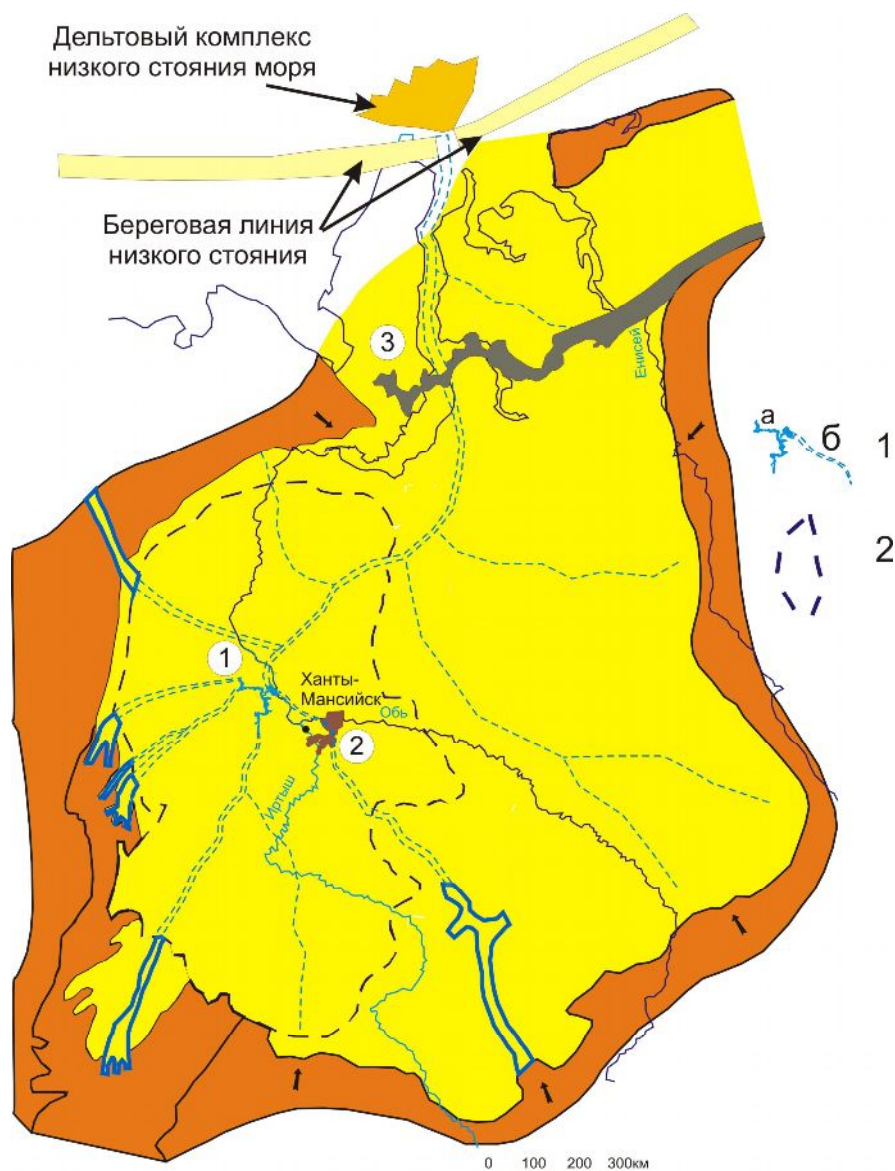


Рис. 14. Палеогеографическая схема позднеаптского низкого стояния уровня моря

Условные обозначения к рис. 14: 1 – система врезанных долин установленная (а) и предполагаемая (б); 2 – контуры бывшего внутреннего моря. Цифрами в кружках отмечены установленные и вероятные проявления позднеаптского падения уровня моря: 1 – система врезанных речных долин Красноленинского свода; 2 – русловые отложения Приобского месторождения; 3 – Мессояхская гряда с эрозией 100 м аптского разреза. Остальные условные обозначения см. на рис. 13.

По-видимому, береговая линия отступила далеко на север и на территории Западно-Сибирской равнины установился континентальный режим (см. рис. 14). Активизировались эрозионные процессы и врезанные долины получили широкое развитие.

Западная часть Западно-Сибирской равнины (бывшее внутреннее море) дренировалась речной сетью, частью которой являлась система врезанных долин Красноленинского свода и «русла» Приобской площади. Кальмановская врезанная долина, вероятно, являлась долиной главной водной артерии Западно-Сибирской равнины - палео-Оби. В восточной части Западно-Сибирской плиты, представлявшей в период высокого стояния низменную аккумулятивную равнину, относительное понижение базиса эрозии могло проявиться во

врезании рек в континентальные осадки и накоплении мощных русловых песчаников заполнения врезанных долин в нижней части покурской свиты.

Обширная «чаша» Западно-Сибирского бассейна подвергалась эрозии и огромная масса осадочного материала транспортировалась через врезанные долины на север в направлении регионального уклона. Объем осадков, эродированных только при образовании Сеульского и Кальмановского фрагментов врезанных долин Каменной площади, составляет 19 км^3 при площади долин 630 км^2 и средней глубине около 30 м. В районе береговой линии низкого стояния происходила разгрузка дренажной сети, с образованием несколько крупных дельт (и фанов?), либо одного гигантского дельтового (фанового?) комплекса. Область разгрузки могла располагаться на севере Западной Сибири (см. рис. 14).



Рис. 15. Основные этапы формирования продуктивных отложений викуловской свиты в связи с относительными колебаниями уровня моря

Цифры соответствуют основным этапам осадконакопления, выделенным в тексте. Стратиграфические границы показаны для секвенсов 3 порядка. Продолжительность накопления пластов дано вне масштаба.

Последовавший относительный подъем уровня моря привел к заполнению врезанных долин речными и эстуариевыми осадками.

Временная стабилизация уровня моря отмечается выдвиганием в бассейн покровного циклита $ВК_1^3$. Судя по схожести текстур осадка, разнообразия и интенсивности биотурбации, наблюдающихся в керне, образование циклита $ВК_1^3$ происходило в близких обстановках осадконакопления (для Каменной площади), что и циклитов $ВК_2^1$, $ВК_2^2$, $ВК_3^1$ и $ВК_3^2$.

Во время накопления циклитов $ВК_1^2$ и $ВК_1^1$, по мере относительного повышения уровня моря, площадь морского бассейна прогрессивно расширялась. Усиление морского влияния фиксируется по данным керна (уменьшение песчаности, увеличение

разнообразия и степени биотурбации). Тем не менее, дельтовое влияние также сохранялось, о чем свидетельствуют трещины синерезиса, обуглившиеся остатки растений и углистый детрит, прослой плохо сортированного осадка.

Сильно биотурбированные осадки в кровле парасеквенса BK_1^1 перекрываются черными аргиллитами с раковинами двустворчатых и брюхоногих моллюсков, залегающими в основании ханты-мансийской свиты. Этот слой фиксирует максимальное распространение моря. Условия осадконакопления в это время на Каменной площади были близкими к открытому морскому.

Характер позднеаптской секвенной границы I типа на территории Западной Сибири

Значительное относительное падение уровня моря привело к формированию региональной стратиграфической поверхности – секвенной границы I типа.

В западной части Западно-Сибирского бассейна секвенная граница будет представлена эрозионной поверхностью, отделяющей размывы морские отложения высокого стояния от речных и эстуариевых осадков заполнения врезанных долин и четко проявляющейся по данным сейсморазведки, ГИС и керна. На палео-междуречьях эта граница будет, скорее всего, представлена эрозионной поверхностью последовавшей после образования врезанных долин трансгрессии и может быть идентифицирована при детальном изучении керна.

В восточной части Западно-Сибирского бассейна и на его окраинах, где господствовали условия низменной аккумулятивной равнины в позднем апте и альбе, идентификация и прослеживание эрозионной поверхности затруднительны, поскольку аллювиальные осадки заполнения врезанных долин будут залегать среди континентальных отложений. Секвенная граница может быть определена в подошве массивных песчаников, залегающих в основании комплекса заполнения врезанных долин.

В области береговой линии бассейна низкого стояния секвенная граница может быть идентифицирована по прибрежному налеганию осадков берегового склона на глубоководные отложения высокого стояния моря.

В дистальной части морского бассейна низкого стояния секвенная граница будет представлена согласной поверхностью.

Таким образом, стратиграфическая поверхность, связанная с позднеаптским относительным падением уровня моря, имеет региональное распространение и по разному проявляется в различных частях Западно-Сибирского бассейна. На значительной площади она характеризуется несогласным залеганием и срезает нижележащие пласты (рис. 16).

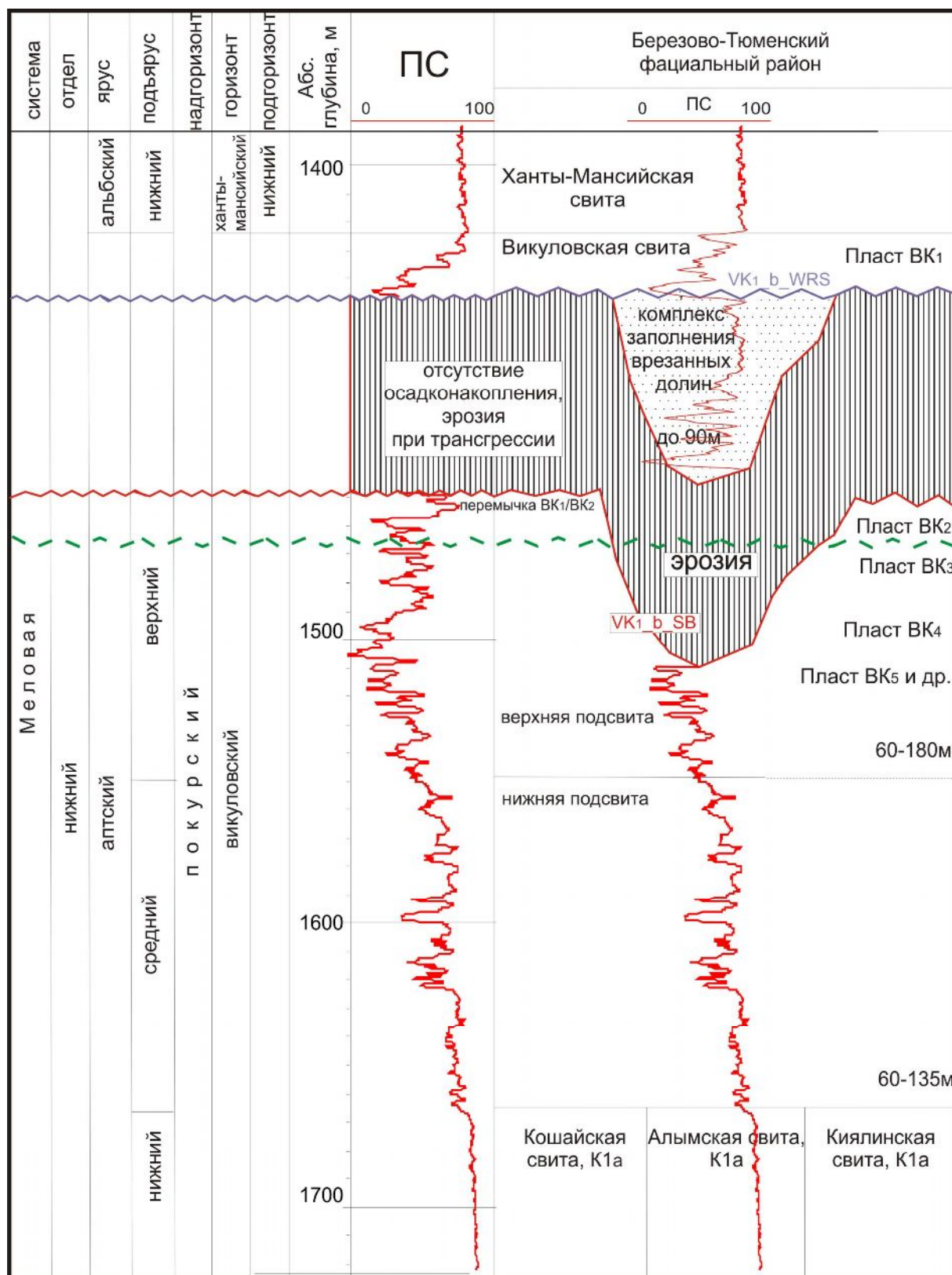


Рис. 16. Положение регионального стратиграфического несогласия (секвенсной границы 1 типа) VK1_b_SB и поверхности волновой эрозии VK1_b_WRS на стратиграфической схеме Березово-Тюменского литолого-фациального района Западно-Сибирской равнины [Решения..., 1991]

Положение поверхности перерыва, предполагавшейся ранее [Карогодин, 2006], показано зеленым пунктиром.

Региональные перспективы нефтегазоносности

Высокая продуктивность комплекса заполнения врезанных долин доказана на Каменной площади, где в 2006-2007 гг. были оконтурены 3 нефтяные залежи (две - в отложениях заполнения Сеульской долины и одна - в заполнении Кальмановской долины) (рис. 17). Залежи приурочены к локальным структурным поднятиям, в то же время их геометрия контролируется распределением песчаников-коллекторов в пределах заполнения долин. Залежи отнесены к структурно-литологическому типу и являются новым высокопродуктивным объектом.

Песчаники заполнения характеризуются более крупнозернистой структурой и лучшими фильтрационными свойствами. Водо-нефтяной контакт, в этих залежах на 5-15 м ниже, чем во вмещающих породах, а дебиты на 50-400 % выше. Введение в разработку только первой залежи привело к увеличению добычи на месторождении более чем на 50 % в течение первого года эксплуатации [Масалкин, 2008]. В настоящее время залежи разрабатываются более чем 200 скважинами.

Региональные перспективы нефтегазоносности, открывающиеся в результате идентификации врезанно-долинных систем Каменной площади, связаны как с поиском их продолжений (особенно, продолжения Кальмановской врезанной долины, соотносимой с палео-Обью), так и с выявлением самостоятельных подобных объектов в верхней части викуловской свиты.

В качестве поисковых критериев могут использоваться региональный уклон позднеаптской поверхности осадконакопления и структурный контроль положения врезанных речных долин. В региональном масштабе врезанно-долинные системы Краснотенинского свода будут, по-видимому, простираются с запада и юго-запада от окраин бассейна на северо-восток в направлении области разгрузки. В пределах Краснотенинского свода прогнозируется развитие Кальмановской врезанной долины на территорию Поснокортской ложбины и Водораздельного прогиба, в контурах, близких положению современной долины р. Обь. Очевидно, что позднеаптские долины не будут полностью совпадать с современной гидрографической сетью (например, нет современного аналога обширной Сеульской врезанной палео-долины), тем не менее, палео-структурный контроль положения долин в пределах Краснотенинского свода имеет выраженный характер.

Важными нефтепоисковыми объектами являются генетически связанные с врезанными долинами осадочные системы низкого стояния: дельты и береговой линии, а также фанов дна и склона бассейна (последние, могут присутствовать в зависимости от морфологии бассейна седиментации и положения береговой линии), которые образовывались в области разгрузки речной сети.

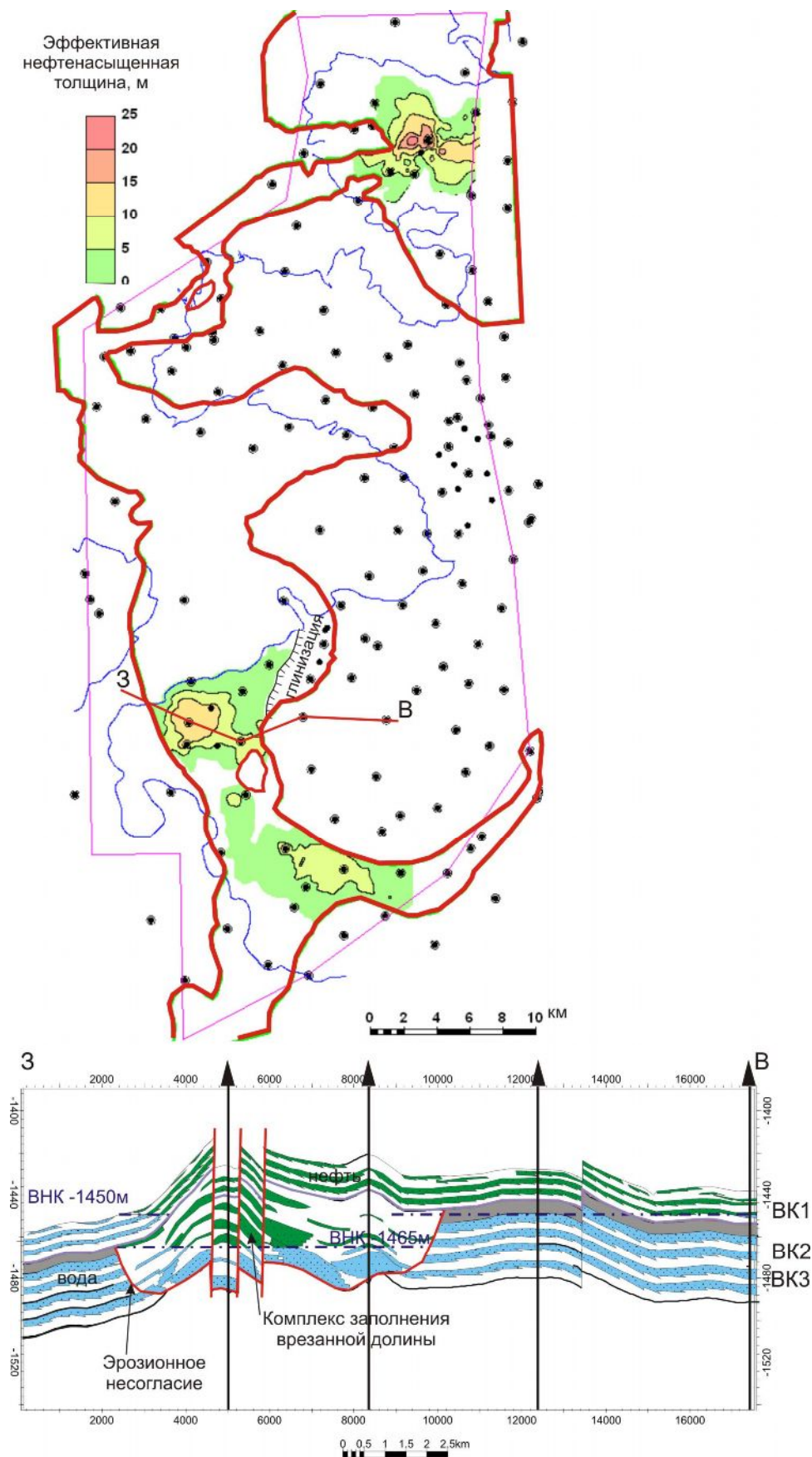


Рис. 17. Структурно-литологические залежи комплекса заполнения врезанных долин
 Красным показан контур врезанных долин, синим – контур нефтеносности ненарушенной речной эрозией последовательности пластов ВК₁, ВК₂ и ВК₃.

Также возможно обнаружение литологических залежей, приуроченных к дистальной части клина низкого стояния (в случае обнажения бровки шельфа) и стратиграфических/эрозионных залежей ниже поверхности несогласия.

Выводы

Врезанно-долинные системы Каменной площади являются индикатором относительного падения уровня моря амплитудой более 100-120 м и ассоциированного с ним регионального несогласия (секвенсной границы 1 типа). В период низкого стояния на территории Западной Сибири господствовали континентальные условия, накопленные ранее отложения подвергались эрозии. Аккумуляция осадков была сосредоточена в области береговой линии, располагавшейся к северо-востоку от Каменной площади.

Значение идентификации относительного падения уровня моря для оценки перспектив нефтегазоносности обусловлено приуроченностью к этому событию разнообразного комплекса отложений, содержащих высокочемкие резервуары. Региональные нефтегазопроисковые перспективы связаны с выявлением:

1. Всей сети одновозрастных врезанно-долинных систем, главной из которых, вероятно, является фрагмент Кальмановской врезанной долины, соотносимый с долиной палео-Оби. В масштабе Красноренского свода, прогнозируется развитие Кальмановской врезанной долины на территорию Поснокортской ложбины и Водораздельного прогиба.
2. Генетически ассоциированных с врезанными долинами осадочных систем дельты и береговой линии низкого стояния, а также фанов дна и склоновых отложений - возможных источников УВ.
3. Литологических залежей в дистальной части клина низкого стояния и стратиграфических/эрозионных залежей ниже поверхности несогласия.

Литература

Белоусов С.Л., Нукалов Е.Н., Хамитуллин И.М. Врезанная долина викуловских отложений Красноренского свода // Геомодель-2008: тезисы докладов X-ой юбилейной международной научно-практической конференции. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2008 (CD).

Выявление новых типов объектов в связи с совершенствованием сейсмических технологий. – Тюмень: ОАО Тюменнефтегеофизика - <http://www.tngf.ru/tngf/dnirnst.html>.

Кародин Ю.Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. В 2 т. Т.1: Мел Западной Сибири. – Новосибирск: изд-во «Гео», 2006. – 166 с.

Кузина Е.В., Хэндфорд Ч.Р. Системы врезанных долин Викуловской свиты на Каменной площади – сейсмо-геоморфологическая перспектива //К эффективности через сотрудничество: труды международной конференции геофизиков и геологов. – Тюмень: ЕАГО-SEG-AAPG, 2007 (CD).

Литолого-палеогеографические карты Западно-Сибирской равнины /Под ред. Нестерова И.И. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1974.

Масалкин Ю.В. Новый виток развития Каменного месторождения //Новатор, 2008. - №20 (январь-февраль). - С. 9-13.

Медведев А.Л., Никитина В.А., Нагаева И.А., Кузина Е.В. Изучение палеоврезов в отложениях викуловской свиты Каменного месторождения Западной Сибири на основе данных сейсморазведки 2D //Геомодель-2006: тезисы докладов VIII-ой научно-практической конференции. – М.: изд. «ООО Геомодель Консалтинг», 2006. - С. 142-144.

Медведев А.Л., Лопатин А.Ю., Зверев К.В. Фациальная модель пластов ВК₁₋₃ викуловской свиты Каменного месторождения (Западная Сибирь) //Геомодель-2006: тезисы докладов VIII-ой научно-практической конференции. – М.: изд. «ООО Геомодель Консалтинг», 2006. - С. 150-152.

Медведев А.Л., Хэндфорд Р., Лопатин А.Ю., Зверев К.В., Масалкин Ю.В., Кузина Е.В. Новый нефтеперспективный объект – комплекс заполнения врезанных долин в продуктивных пластах викуловской свиты Каменного месторождения //Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2009. - №1. - С. 4-20.

Нежданов А.А. Геологическая интерпретация сейсморазведочных данных: курс лекций. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. – 133 с.

Нежданов А.А. Сейсмостратиграфия и стратиграфия в узком смысле (*sensu striato*) //Актуальные проблемы нефтегазоносных бассейнов. - Новосибирск: изд-во Новосибирского ун-та, 2003. - С. 43-51.

Решения V межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины. - Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. – 54с.

Рудкевич М.Я., Озеранская Л.С., Чистякова Н.Ф., Корнев В.А., Максимов Е.М. Нефтегазоносные комплексы Западно-Сибирского бассейна. - М.: Недра, 1988. – 303 с.

Рухин Л.Б. Основы общей палеогеографии. – Л.: Гостоптехиздат, 1962.

Тектоническая карта центральной части Западно-Сибирской плиты /Под ред. Шпильмана В.И., Змановского Н.И., Подсосовой Л.Л. – Тюмень: изд. ГП НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, 1998.

Шейн В.С., Клещев К.А. Условия нефтегазонакопления на платформах и в складчатых областях (с позиций тектоники литосферных плит) //Геология нефти и газа, 1984. - № 3. - С. 20-29.

Blum M.D. and Törnqvist T.E. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 2000, vol. 47 (suppl.1), P. 2-48.

Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea-Level Change in Wiglus C.K., Hastings B., Ross C., Posamentier H., Van-Wagoner J. and Kendall C., eds. *Sea-Level Changes - An Integrated Approach*, Tulsa, SEPM Special Publications No 42, 1988. - P. 71-108.

Sahagian D., Pinous O., Olfieriev A., Zakharov V. Eustatic curve for the Middle Jurassic-Cretaceous Based on Russian Platform and Siberia Stratigraphy: Zonal Resolution. *AAPG Bulletin*, V.80, No.9 (September 1996), P. 1433-1458.

Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy/edited by H.G. Reading. -3rd edition, 1996.

Van-Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M. Jr., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., Hardenbol J. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions in *Sea level changes - an integrated approach*, editor Wigglus, 1988.

Van-Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., and Rahmanian, V.D. *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*. AAPG Methods in Exploration Series, No7, 1990.

Рецензент: Маргулис Лазарь Соломонович, доктор геолого-минералогических наук.

Medvedev A.L.

Halliburton International Inc., Russia Branch, Moscow, Russia, amedvedev@lgc.com

APTIAN INCISED RIVER VALLEYS OF THE KAMENNOYE FIELD, WESTERN SIBERIA: REGIONAL ASPECTS OF PETROLEUM POTENTIAL

Incised paleovalleys, formed in response to relative fall of a sea level, are the bright indicator of a regional unconformity and genetically related potentially highly prospective depositional systems of lowstand deltas, shoreline, basin slope and floor fans. Because of this, revealing even a local fragment of the incised paleovalleys may have regional paleogeographic, stratigraphic and hydrocarbon prospecting consequences. The identification of the Aptian incised valleys at the Kamennoye field, Western Siberia, has given a key to recognizing a regional unconformity (sequence boundary 1) as well as to forecasting the objects prospective for oil and gas related to lowstand deposits.

Key words: *incised valleys, unconformity, sequence boundary 1, petroleum prospects, Vikulov formation, Aptian, Krasnoleninsk arch, Western Siberia.*

References

Belousov S.L., Nukalov E.N., Hamitullin I.M. Vrezannaâ dolina vikulovskih otloženij Krasnoleninskogo svoda // Geomodel'-2008: tezisy dokladov X-oj ūbilejnoj meždunarodnoj naučno-praktičeskoj konferencii. – M.: EAGE Geomodel', 2008 (CD).

Vyâvlenie novyh tipov ob'ektov v svâzi s soveršenstvovaniem sejsmičeskikh tehnologij. – Tûmen': OAO Tûmenneftegeofizika - <http://www.tngf.ru/tngf/dnirnst.html>.

Karogodin Ū.N. Sistemnaâ model' stratigrafii neftegazonosnyh bassejnov Evrazii. V 2 t. T.1: Mel Zapadnoj Sibiri. – Novosibirsk: izd-vo «Geo», 2006. – 166 s.

Kuzina E.V., Hëndford Č.R. Sistemy vrezannyh dolin Vikulovskoj svity na Kamennoj plošadi – sejsmo-geomorfologičeskaâ perspektiva //K èffektivnosti čerez sotrudničestvo: trudy meždunarodnoj konferencii geofizikov i geologov. – Tûmen': EAGO-SEG-AAPG, 2007 (CD).

Litologo-paleogeografičeskie karty Zapadno-Sibirskoj ravniny /Pod red. Nesterova I.I. – Tûmen': ZapSibNIGNI, 1974.

Masalkin Ū.V. Novyj vitok razvitiâ Kamennogo mestoroždeniâ //Novator, 2008. - #20 (ânvar'-fevral'). - S. 9-13.

Medvedev A.L., Nikitina V.A., Nagaeva I.A., Kuzina E.V. Izučenie paleovrezov v otloženiah vikulovskoj svity Kamennogo mestoroždeniâ Zapadnoj Sibiri na osnove dannyh sejsmorazvedki 2D //Geomodel'-2006: tezisy dokladov VIII-oj naučno-praktičeskoj konferencii. – M.: izd. «OOO Geomodel' Konsalting», 2006. - S. 142-144.

Medvedev A.L., Lopatin A.Ū., Zverev K.V. Facial'naâ model' plastov VK1-3 vikulovskoj svity Kamennogo mestoroždeniâ (Zapadnaâ Sibir') //Geomodel'-2006: tezisy dokladov VIII-oj naučno-praktičeskoj konferencii. – M.: izd. «OOO Geomodel' Konsalting», 2006. - S. 150-152.

Medvedev A.L., Hëndford R., Lopatin A.Ū., Zverev K.V., Masalkin Ū.V., Kuzina E.V. Novyj nefteperspektivnyj ob'ekt – kompleks zapolneniâ vrezannyh dolin v produktivnyh plastah vikulovskoj svity Kamennogo mestoroždeniâ //Geologiâ, geofizika i razrabotka nefťanyh i gazovyh mestoroždenij, 2009. - #1. - S. 4-20.

Neždanov A.A. Geologičeskaâ interpretaciâ sejsmorazvedočnyh dannyh: kurs lekcij. - Tûmen': TûmGNGU, 2000. – 133 s.

Neždanov A.A. Sejsmostratigrafiâ i stratigrafiâ v uzkom smysle (senso striato) //Aktual'nye problemy neftegazonosnyh bassejnov. - Novosibirsk: izd-vo Novosibirskogo un-ta, 2003. - S. 43-51.

Rešeniâ V meždedomstvennogo regional'nogo stratigrafičeskogo sovešaniâ po mezozojskim otloženiam Zapadno-Sibirskoj ravniny. - Tûmen': ZapSibNIGNI, 1991. – 54s.

Rudkevič M.Â., Ozeranskaâ L.S., Čistâkova N.F., Kornev V.A., Maksimov E.M. Neftegazonosnye komplekсы Zapadno-Sibirskogo bassejna. - M.: Nedra, 1988. – 303 s.

Ruhin L.B. Osnovy obšej paleogeografii. – L.: Gostoptehizdat, 1962.

Tektoničeskaâ karta central'noj časti Zapadno-Sibirskoj plity /Pod red. Špil'mana V.I., Zmanovskogo N.I., Podosovoj L.L. – Tûmen': izd. GP NAC RN im. V.I. Špil'mana, 1998.

Šein V.S., Klešev K.A. Usloviâ neftegazonakopleniâ na platformah i v skladčatyh oblastâh (s pozicij tektoniki litosfernyh plit) //Geologiâ nefti i gaza, 1984. - # 3. - S. 20-29.

©Медведев А.Л., 2010.