

УДК 550.34.013.4+551.782.13(265.53)

А.Л. Волконская¹, И.Н. Керусов², А.И. Конюхов³, Е.Е. Карнюшина⁴,
О.В. Крылов⁵, Г.А. Калмыков⁶

МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ВЕРХНЕМИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОДОПТИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ОХОТСКОГО МОРЯ

На примере нижненутовского подгоризонта Одоптинской площади рассматриваются возможности и эффективность применения сиквенс-стратиграфического подхода к комплексной интерпретации сейсмических данных и материалов бурения скважин. Построены сиквенс-стратиграфическая модель, график относительного изменения уровня моря и условная хроностратиграфическая схема формирования осадочного чехла исследованного участка осадочного бассейна с привязкой к существующей геохронологической шкале.

Ключевые слова: нижненутовский подгоризонт, Одоптинская площадь, сиквенс-стратиграфический подход, хроностратиграфическая схема.

Using the example of lower nutovsky thickness on Odoptu field discusses the possibility and efficacy of sequence-stratigraphic approach to integrated interpretation of seismic data and drilling materials. Sequence stratigraphic model, graph showing sea level changes and regional chronostratigraphic correlation chart with reference to the existing geochronological scale was developed for the formation of the sedimentary cover in the research area.

Key words: lower nutovsky thickness, Odoptu field, sequence-stratigraphic approach, chronostratigraphic correlation chart.

Введение. На о. Сахалин и в прилегающих акваториях выделяется несколько осадочных бассейнов. Нефтегазоносные Пограничный, Северо- и Южно-Сахалинский бассейны, которые образуют один из сегментов Западно-Тихоокеанского глобального пояса нефтегазонакопления [Конюхов, 2010]. Фундамент в регионе образован метаморфизованными породами мезозойского возраста. В основании осадочного чехла Северо- и Южно-Сахалинского бассейнов залегают верхнемеловые породы. Как и вышележащие кайнозойские отложения, они представлены песчано-глинистыми образованиями континентального и морского генезиса, включающими прослой углей, вулканитов и конгломератов.

Важная особенность, которая выделяет Северо-Сахалинский бассейн среди других осадочных бассейнов Япономорско-Охотского сегмента, — протяженная подводная гряда из выступов мезозойского фундамента. Она протягивается вдоль края современного островного шельфа, отделяя собственно Северо-Сахалинский трог от Дерюгинской впадины. В районе Охинского перешейка

и к югу от него эти выступы образуют Восточно-Одоптинское поднятие, которое одни исследователи называют краевой дамбой или краевым поднятием [Харахинов, 2010], другие — Трехбратской мегантиклиналью [Ломтев, Литвинова, 2011]. В неогене Восточно-Одоптинское поднятие блокировало распространение терригенного материала в восточном направлении. Вследствие этого верхняя часть осадочной толщи на западе от него сформирована в основном отложениями нутовской свиты, тогда как восточнее, в области островного склона и Дерюгинской впадины — осадочными образованиями помырского комплекса. Вместе со структурами, развитыми вдоль западной периферии острова, Восточно-Одоптинское поднятие определяло границы передового прогиба, ныне заполненного кайнозойскими отложениями мощностью более 9 км [Харахинов, 2010]. Эпизодически в неогеновое время вершина поднятия выступала над уровнем моря и размывалась. Продукты размыва выносились в северо-восточную часть островного шельфа.

Наиболее распространены в бассейне породы дагинской, окобыкайской и нутовской свит.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, мл. науч. с.; *e-mail:* anechka.volkonskaya@yandex.ru

² Центр сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», начальник центра; *e-mail:* igor.kerusov@lukoil.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор; *e-mail:* konyuhov@geol.msu.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор; *e-mail:* evgem@geol.msu.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент; *e-mail:* krylov@geol.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент; *e-mail:* gera64@mail.ru

В наземных районах о. Сахалин низы и верхняя часть дагинской свиты (мощность от 1000 до 1700 м) сложены песчано-глинистыми породами морского генезиса, тогда как в средней части разреза преобладают угленосные континентальные отложения.

В основании окобыкайской свиты (мощность от 400 до 2000 м) присутствуют глауконитовые песчаники, в нутовской свите (мощность до 2000 м) известны фосфориты. Глауконит и фосфоритовые конкреции были описаны также в разрезе пильской свиты Охинской фациальной зоны. В пределах большей части бассейна окобыкайская свита представляет собой толщу циклического чередования алевролитов, глин и песчаников [Иванов, 2013]. В краевой части шельфа ее мощность сокращается до 200 м, и терригенная толща замещается кремнистыми глинами. Залежи нефти и газа в регионе приурочены в основном к отложениям дагинской и окобыкайской свит, но они известны также в мачигарских слоях и в нижней части нутовской свиты. Более 90% запасов углеводородов (УВ) сосредоточено в центральной части бассейна, где открыто около 50 месторождений нефти и газа. Наиболее крупные из них находятся на шельфе [Маргулис, 2002].

В северной половине Северо-Сахалинского бассейна перспективы открытия новых залежей УВ связаны с нижненутовским комплексом или подгоризонтом, так как в конце миоцена в результате проградации палеодельты Амура сюда стал поступать огромный объем терригенного материала. Разрез верхнего миоцена представляет собой чередование песчаников, алевролитов и глин, часто образующих мощные пласты и пачки. В разрезах островной суши отложения позднемиоценового возраста включают прослой углей. На шельфе распространены главным образом морские осадки, содержащие фауну организмов с карбонатной функцией. Среди них встречаются формы, обитавшие в солоноватоводной обстановке. Отложения, как правило, слабо сортированы, обогащены растительным углефицированным детритом, включают хорошо или плохо окатанную гальку, главным образом кремнистых и эффузивных пород. В соответствии с описаниями керна в них наблюдается горизонтальная и косая слоистость, присутствуют линзы и карманы, сложенные глинистым (в песчаниках) либо песчано-алевритовым (в глинах) материалом. Мощность нижненутовского комплекса обычно достигает

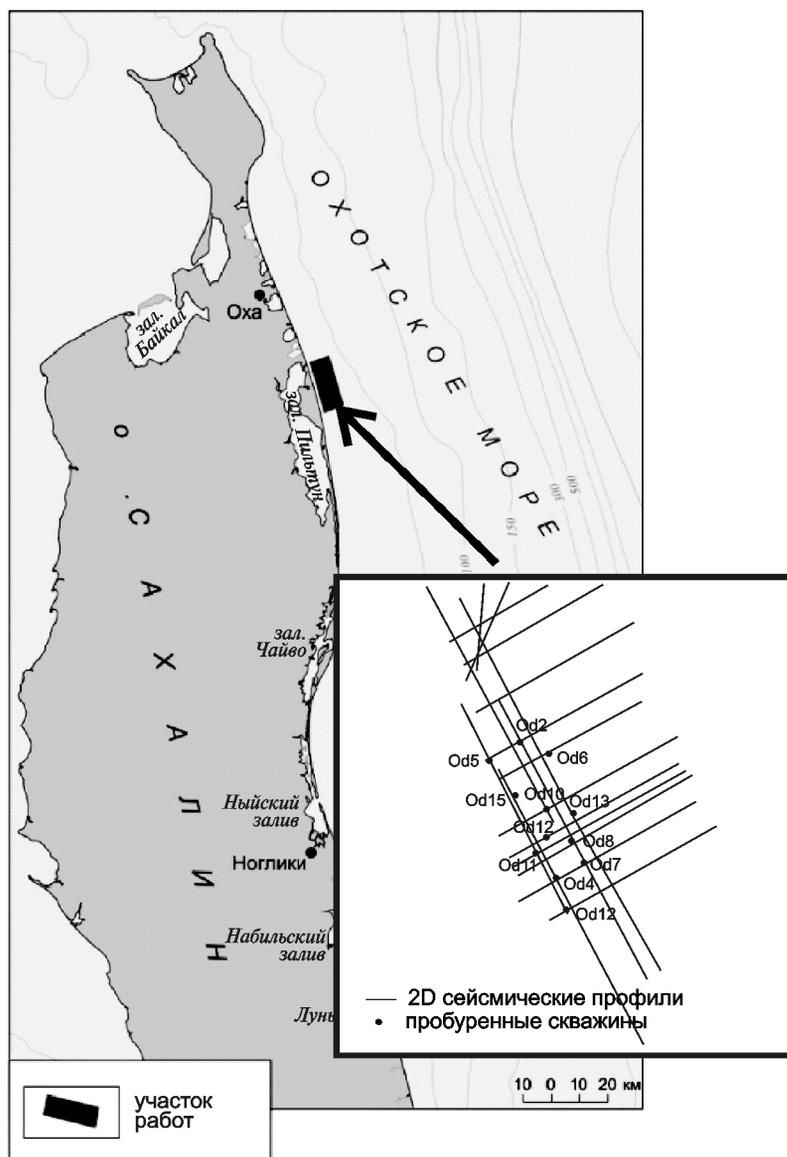


Рис. 1. Схема расположения района работ

2000 м, а в районе Пильтунской синклинали превышает 3500 м и быстро сокращается по мере приближения к Восточно-Одоптинскому поднятию, где, по данным В.В.Харахинова [Харахинов, 2010], в осадочных отложениях увеличивается содержание кремнистого материала.

Методика работ и терминология. Сиквенс-стратиграфическая модель создавалась на основе анализа опорной сети 2D сейсмических профилей одного из лицензионных участков шельфа о. Сахалин с использованием априорной региональной информации и материалов ГИС по пробуренным скважинам (рис. 1).

Терминологическая и методологическая основа принята по серии классических работ, среди которых отметим раннюю работу по сейсмической и сиквенс-стратиграфии, опубликованную AAPG в 1977 г. [Seismic..., 1977], в которой дано определение осадочной секвенции, как базовой стратиграфической единицы сиквенс-стратиграфической

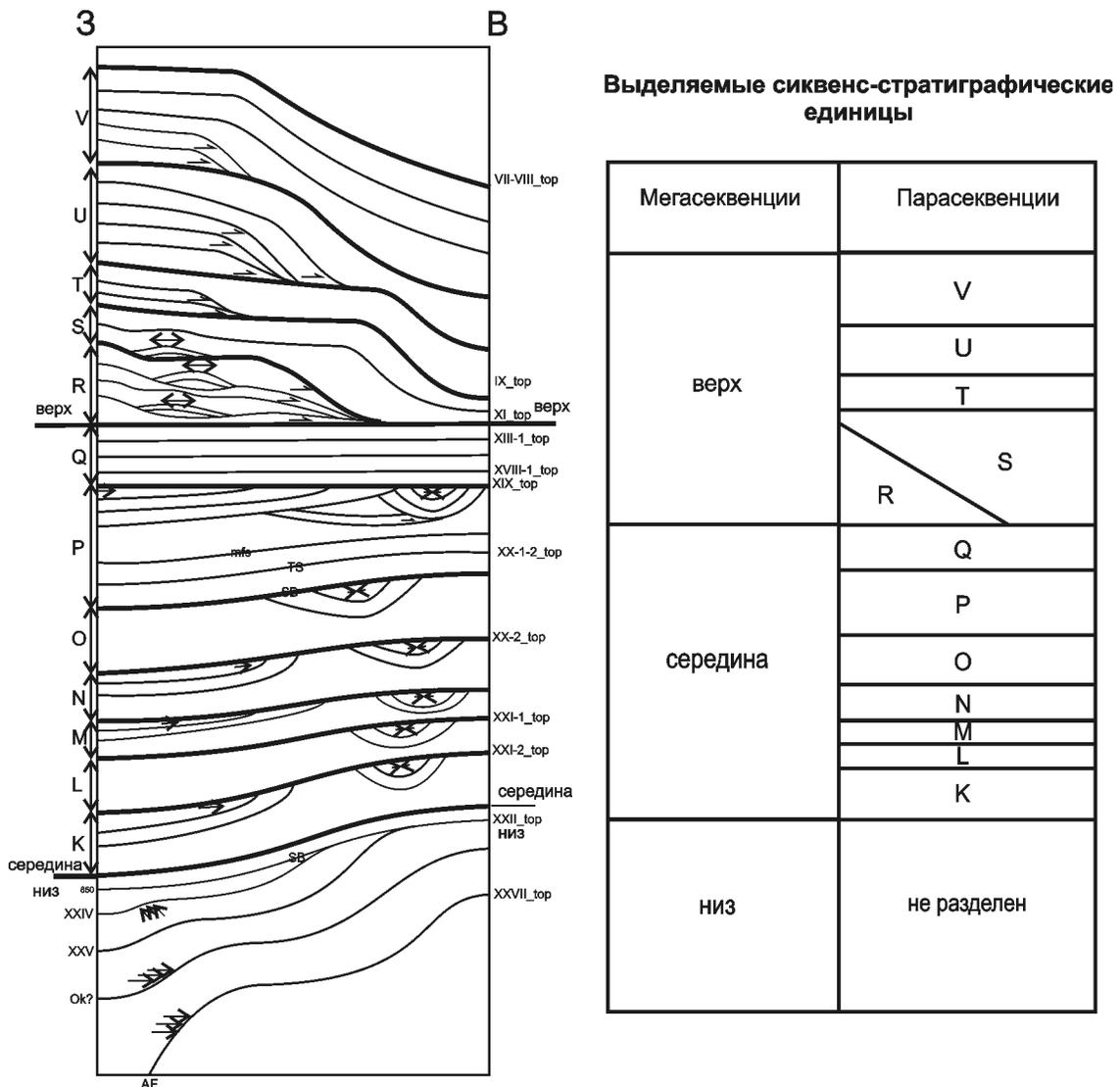


Рис. 2. Принципиальная сиквенс-стратиграфическая модель отложений на площади исследований

модели. Эта стратиграфическая единица ограничена субэаральными несогласиями на окраине бассейна и коррелирующими с ними согласиями в направлении к центру бассейна. Осадочная секвенция делится на системные тракты низкого стояния, трансгрессивный и высокого стояния, разделенные поверхностями, которые соответствуют изменениям направления смещения береговой линии с регрессивной на трансгрессивную и наоборот [Posamentier, Vail, 1988]. В работе [Embry, Jahannessen, 1992] предложена стратиграфическая единица, называемая трансгрессивно-регрессивной секвенцией. В статье для упрощения принята модель трансгрессивно-регрессивных секвенций, которую впоследствии — по мере получения дополнительных данных по керну и скважинам — можно трансформировать в модель [Posamentier, Vail, 1988].

Интерпретация выполнялась в два основных этапа. На первом этапе выделены и прослежены по всей акватории исследований опорные горизонты, равномерно (по толщине) распределен-

ные в интервале отложений от низов до верхов нижненутовской подсвиты и приуроченные к границам видимых изменений сейсмической волновой картины. Этот интервал включает основные продуктивные и нефтегазоперспективные пласты лицензионного участка. Индексация отражающих горизонтов (ОГ) выполнялась сверху вниз, как это принято при индексации продуктивных пластов. Шаг индексов ОГ, равный 100, с одной стороны, с большим запасом априорно обеспечивает диапазон номеров для возможных индексов серии последовательных слоев и парасеквенций, а с другой — составляет каркас для собственно сиквенс-стратиграфического анализа, в основе которого лежит анализ секвенций — стратиграфических единиц, сложенных согласной последовательностью генетически взаимосвязанных слоев.

Другой важный критерий выбора опорных ОГ — их приуроченность к продуктивным пластам, которые уверенно выделяются по методам ГИС, включая важные для сейсмической интерпретации исследования АК и ГГКп.

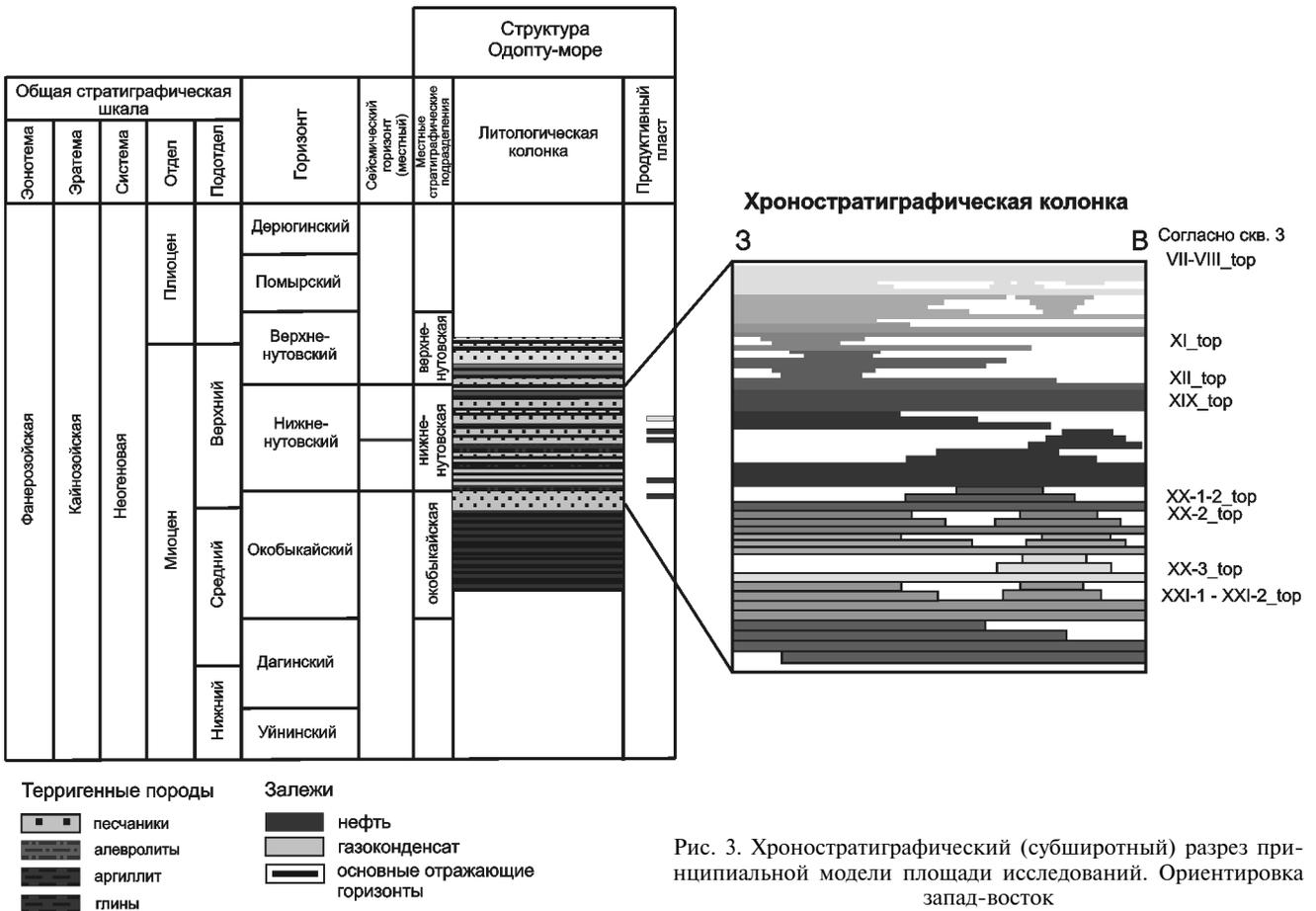


Рис. 3. Хроностратиграфический (субширотный) разрез принципиальной модели площади исследований. Ориентировка запад-восток

На втором этапе в границах каркаса опорных горизонтов выполнена тотальная корреляция отражений во всем исследуемом интервале, в результате которой выделены поверхности несогласий, интерпретируемые как границы секвенций. В границах секвенций с учетом реального разрешения сейсмической записи прослежены отражения, представляющие собой заполнение секвенций, ранг которых может быть определен как границы основных системных трактов или отдельных парасеквенций (групп парасеквенций).

В результате детальной привязки прокоррелированных методом «тотальной корреляции» отражающих горизонтов их сопоставили со скважинными данными. При этом, учитывая ограниченную разрешающую способность сейсмических данных, были выработаны критерии выделения границ трансгрессионно-регрессионных секвенций турбидитовых потоков, формировавшихся в обстановке фронта дельты.

Турбидитные потоки, как правило, характеризуются развитием цикла Боума, т.е. постепенным огрубением песчаного материала в подошве циклов, при этом их подошва нередко эрозионная.

В интервалах разреза, обогащенных глинистым материалом, прослеживание границ секвенций, которые выделены в эталонных скважинах, в большей степени основано на результатах привязки отражающих горизонтов к скважине.

Корреляция отложений в основном базируется на интерпретации сейсмических профилей, что позволяет с достаточной долей уверенности проследить распространение пластов, что сложно сделать только по кривым ГИС для данного района.

Технология построения и основные элементы сиквенс-стратиграфической модели. В рамках построенной каркасной схемы корреляции сейсмических отражающих горизонтов прослежены все оси синфазности в исследуемом интервале. Такой подход позволил выделить поверхности несогласия внутри интервала, которые приняты в качестве границ секвенций. Собственно границы секвенций и соответствующие им отражающие горизонты индексировались с сохранением последовательности номеров опорных отражающих горизонтов каркасной сети. Итоговая схема корреляции горизонтов представляет собой хроностратиграфическую модель ниженутовских отложений, где линии горизонтов можно рассматривать в качестве преимущественно синхронных поверхностей. Исключение составляют только поверхности несогласий, разделяющие секвенции. Принципиальная сиквенс-стратиграфическая модель ниженутовских и подстилающих отложений приведена на рис. 2, 3, 4.

В результате сплошной корреляции выделены 3 крупные мегасеквенции — нижняя, средняя и

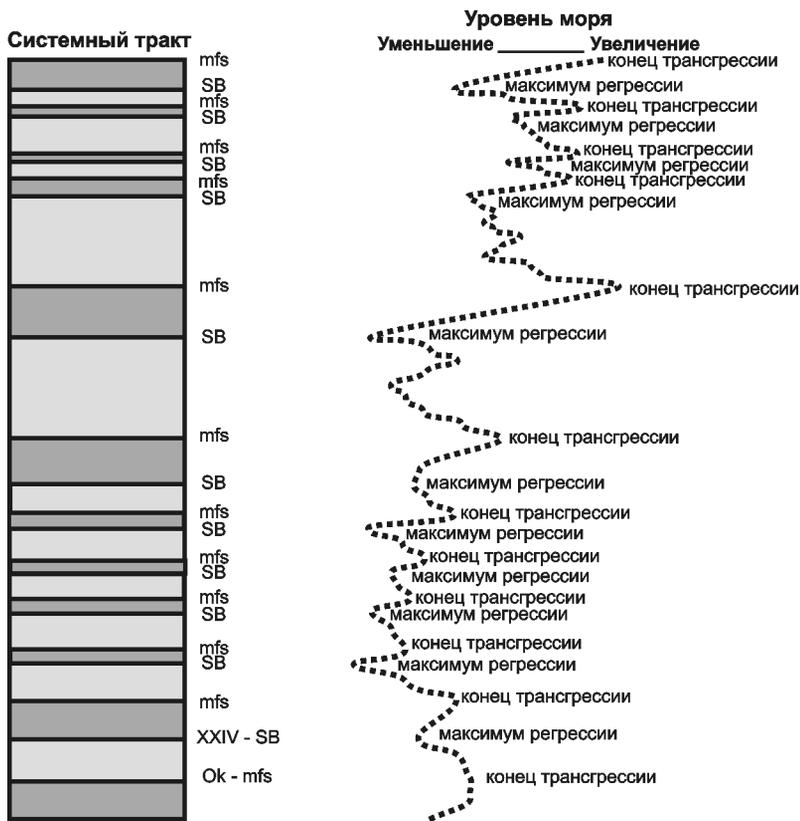


Рис. 4. Относительное изменение уровня моря

верхняя, а также серия секвенций более низкого порядка, индексированных сверху вниз латинскими буквами от К до V.

Тела секвенций заполнены мельчайшими для разрешения сейсморазведкой элементами — горизонтами, ранг которых колеблется от парасеквенций до системных трактов. Небольшие пространственные размеры элементов в сопоставлении с редкой, практически региональной сеткой сейсмических профилей не позволяют выполнить более детальную и однозначную интерпретацию.

Характер соотношения горизонтов с вмещающими интервалами использован для построения как принципиальной сиквенс-стратиграфической модели исследованного разреза, так и для построения соответствующего ему хроностратиграфического разреза, увязанного с геохронологической шкалой (рис. 3).

В рамках построенной хроностратиграфической модели определены относительные изменения уровня моря. В предложенной модели принято считать, что границы секвенций соответствуют окончанию регрессивного — началу трансгрессивного цикла седиментации. Окончание трансгрессивного цикла отвечает поверхности максимального затопления, представленной в разрезе наиболее выдержанными горизонтами (рис. 4).

Сиквенс-стратиграфическая модель осадочного чехла исследованной акватории. В основании разреза выделена нижняя мегасеквенция, представленная предположительно окобыкайскими и более

ранними отложениями, разделенными на 5 интервалов (рис. 2). Более детальное расчленение оказалось невозможным из-за низкой прослеживаемости сейсмических горизонтов.

Несмотря на сильнее проявившиеся более поздние тектонические процессы, характер формирования отложений этой мегасеквенции достаточно уверенно фиксируется на выровненных палеоразрезах по изменению толщины и характеру прекращения прослеживаемости заполняющих отражений. По сейсмическим данным уверенно фиксируется последовательное заполнение впадины, формирующейся вдоль восточного склона поднятия фундамента. Сначала (условно в окобыкайское время) происходило интенсивное заполнение впадины в результате трансгрессии моря, маркированное серией налегающих на поверхность фундамента горизонтов (рис. 2). Полная компенсация впадины наступила в интервал времени, соответствующий формированию нижних пластов нижненутовских отложений (рис. 2). Заключительная стадия происходила на фоне чередования этапов накопления осадков и их размыва, что зафиксировано в виде элементов несогласий типа эрозионных срезов (рис. 2).

На следующем этапе геологической истории формировалась средняя мегасеквенция, особенность которой — относительно выдержанные толщины на всей исследованной площади, в то время как последующая верхняя мегасеквенция формировалась с явным увеличением скорости осадконакопления в западной части площади по схеме бокового наращивания.

История формирования средней мегасеквенции характеризуется чередованием этапов аккумуляции и эрозионных процессов, происходивших, по-видимому, в условиях относительно ровного рельефа поверхности осадконакопления.

Характер пространственного распределения толщины более мелких подразделений мегасеквенции указывает на преобладание потоков, формирующих эрозионный рельеф в направлении с север-северо-запада на юг-юго-восток. Выравнивание эрозионного рельефа и наращивание мощности осадочного покрова выдержанными по мощности и литолого-фациальному составу отложениями происходило в стадии регрессии и маркируется поверхностями максимального затопления (рис. 2).

Смена компенсационного заполнения формирующегося бассейна на проградационный тип фиксируется в вертикальном разрезе верхней

мегасеквенции при выравнивании субширотных сейсмических разрезов на горизонт, разделяющий среднюю и верхнюю мегасеквенции. Нарастание толщины верхней мегасеквенции сопровождается многочисленными примерами несогласий типа подошвенного налегания с преобладающим падением слоев с запада на восток, что наиболее ярко иллюстрируют местоположение источника осадков и направление проградации шельфа. Характер распределения толщины отдельных элементов, контуров областей распространения горизонтов в пределах мегасеквенции дополняет и подтверждает вышеописанную модель (рис. 2).

Выводы. 1. Заполнение Одоптинского трога в ранненутовское время, определявшееся выносом терригенного материала с двух направлений — запада и северо-запада, происходило на фоне частой смены трансгрессий морских вод регрессиями. С ними были связаны значительные перемещения береговой линии, при трансгрессии в сторону островной суши, при регрессии — в сторону шельфа.

2. Основную роль играли процессы прибрежно-морской, дельтовой и шельфовой седиментации. Глубоководные осадки накапливались лишь в юго-восточном секторе изученного региона, где в начале ранненутовской эпохи вблизи склона Восточно-Одоптинского поднятия сохранилась небольшая депрессия.

3. Влияние палеodelьты Амура существенно возрастало в регрессивные эпохи. При этом по-

ложение ее активных рукавов постоянно менялось. В начале позднего миоцена они были расположены преимущественно в западной части региона (секвенции К, L и M), где формировались устьевые бары. Позднее они стали выдвигаться в сторону шельфа с северо-запада, в то время как западная лопасть дельты перестала быть активной, а на ее месте образовался залив (возможно, эстуарий), защищенный со стороны моря вдольбереговыми барами, косами и другими аккумулятивными формами.

4. На протяжении долгого времени (секвенции O, P и Q) в заливе накапливались тонкозернистые глинистые и алевритовые илы, тогда как в зоне подвижного мелководья преобладала аккумуляция более грубых осадков — песков, песчаных алевритов и гравия, образующих циклично построенные пачки. Под воздействием волновой абразии, ветровой эрозии и приливно-отливных течений бары и валы постепенно разрушались, а разделявшие их промоины и депрессии заполнялись слабосортированными осадками.

5. На заключительном отрезке ранненутовской эпохи в результате трансформации Одоптинского трога в обычную шельфовую платформу седиментация окончательно переместилась в прибрежно-шельфовую зону, где происходило формирование аккумулятивных образований, в основном в виде клиноформ, постепенно выдвигавшихся в сторону моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Иванов М.К., Карнюшина Е.Е., Керусов И.Н. и др. Литофациальный анализ позднемиоценовой толщи на шельфе северо-восточного Сахалина на основе геолого-геофизических, литологических и нефтегеологических данных // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: Мат-лы VII Всеросс. литологического совещания (Новосибирск, 28–31 октября 2013 г.). Т. 1. Новосибирск, 2013. С. 358–361.

Конюхов А.И. Краины континентов — глобальные пояса нефтегазонакопления (Западно-Тихоокеанский пояс) // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 5. С. 519–541.

Ломтев В.Л., Литвинова А.В. К строению восточной подводной окраины Северного Сахалина // Современное состояние наук о Земле: Тез. Всеросс. тектонического совещания. М.: МГУ, 2011. С. 1168–1171.

Маргулис Л.С. Секвенс-стратиграфия и нефтегазонакопимость Охотоморского региона: Автореф. докт. дисс. СПб., 2002. 50 с.

Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 275 с.

Embry, A.F., Jahannessen E.P. T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup basin, Arctic Canada // *Norw. Petrol. Soc. (NPF), Spec. publ.* 2. 1992. P. 121–146.

Posamentier, H.W., Vail, P.R. Eustatic controls on clastic deposition II-sequence and systems tract models // *SEPM Spec. publ.* 1988. Vol. 42. P. 110–154.

Seismic Stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration // *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26. Tulsa, Oklahoma, 1977. ISBN 0 89181 302 0.

Поступила в редакцию
15.03.2016