

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛДАНО-МАЙСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА (ЮГО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)***Е.П. Развозжаева****ФГБУН Институт тектоники и геофизики ДВО РАН им.Ю.А. Косыгина, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000;
e-mail: rep@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 9 января 2020 г.

По результатам обобщения материалов сейсморазведочных работ, проведенных в Алдано-Майском осадочном бассейне, обоснован выбор сейсмостратиграфической модели, построены поперечные и продольные сейсмогеологические разрезы, позволившие изучить особенности строения осадочного чехла и уточнить границы бассейна. На основе сейсмических разрезов с привлечением геологической карты 1:2 500 000 масштаба построена схема сформированных в рифее структур. Эти построения позволяют более целенаправленно планировать нефтегазопоисковые и разведочные работы, оценивать мощности и площади материнских толщ. Проведенные исследования могут быть востребованы для уточнения строения юго-восточной части Сибирской платформы.

Ключевые слова: сейсмостратиграфическая модель, сейсмический разрез, сейсмокомплекс, структурная схема, рифей-венд-кембрийские отложения, Алдано-Майский осадочный бассейн, юго-восток Сибирской платформы.

ВВЕДЕНИЕ

Алдано-Майским осадочным бассейном (АМОБ) названа область рифей-венд-кембрийского седиментогенеза юго-восточной окраины Северо-Азиатского кратона [4, 5] (рис. 1), фрагментарно перекрытая юрскими отложениями. Встречаются и другие названия рассматриваемой территории: Учуро-Майский [16, 21] или Учуро-Юдомский [27] регион, Учуро-Майская впадина [7], Предсеттедабанский прогиб [15]. Административно АМОБ расположен на территории Хабаровского края и Саха (Якутии). Согласно нефтегазоносному районированию он относится к Северо-Алданской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской провинции Восточно-Сибирской мегапровинции [12]. В современном тектоническом плане территория АМОБ объединяет две структуры первого порядка: Алдано-Майскую плиту и Кыллахскую зону Верхоянского складчато-надвигового пояса (ВСНП), которая представляет собой западную часть Юдомо-Майского прогиба (ЮМП), деформированного мезозойскими складчато-надвиговыми дислокациями.

В период с 2005 по 2014 гг. здесь проводились комплексные геолого-геофизические, в том числе сейсморазведочные, работы с целью оценки перспектив нефтегазоносности (ОАО «Якутскгеофизика»). Эти-

ми работами была охвачена северо-восточная часть территории АМОБ (рис. 1). Южная и юго-западная части бассейна, где рифей-венд-кембрийские отложения выходят под эрозионный срез, сейсморазведкой не изучались. Результаты сейсморазведочных работ изложены в нескольких производственных отчетах. По рекомендациям геофизиков пробурена параметрическая скважина Усть-Майская 366 глубиной 3715 м. В связи с получением новых данных в печати появились публикации, посвященные различным аспектам геологии АМОБ [1–3, 15, 17–19, 24, 30]. Практически в каждом из этих исследований в той или иной степени использованы сейсморазведочные данные, причем стратиграфическая привязка поля отраженных волн различная, что сказывается на выводах по результатам проведенных исследований, в том числе на оценке перспектив нефтегазоносности территории. Причиной различий является многовариантность стратиграфического расчленения геологического разреза, вскрытого глубокими скважинами в пределах АМОБ, и, соответственно, привязки отражающих горизонтов к стратиграфическим подразделениям, вскрытым этими скважинами. Например, только по скважине Мокуйская-1 существует три варианта стратификации разреза: Ю.В. Давыдова и др. [11], Б.Б. Шишкина и

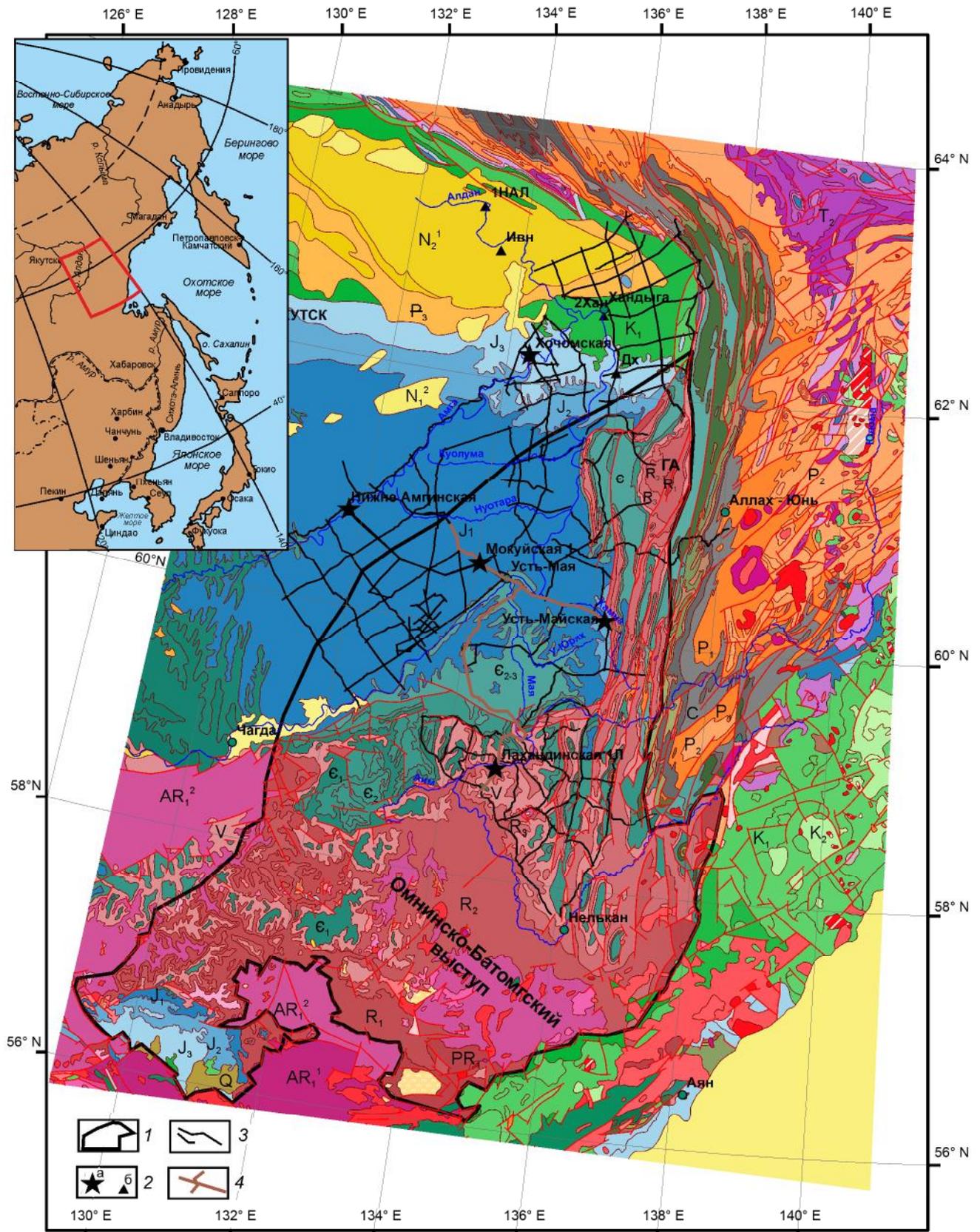


Рис. 1. Геологическая и обзорная (врезка) карты района исследований.

1 – границы бассейна, 2 – скважины: а – к которым проводилась привязка сейсмических разрезов, б – остальные, 3 – сейсморазведочные профили, 4 – композитные сейсмические профили, пересекающие скважины. ГА – Горностахская антиклиналь.

др. [30] и В.В. Граусмана, В.П. Жерновского («Изучение разрезов глубоких скважин, расчленение и корреляция их с целью обеспечения стратиграфической основой нефтегазопроисковых работ в ЯАССР». Фонды ПГО «ЛНГГ», Якутск, 1986 г.). Пробуренная недавно скважина Усть-Майская 366 не дошла, как проектировалось, до среднерифейских отложений, подтвердив проблемы привязки отражающих горизонтов. С другой стороны, перечисленные исследования были проведены еще до окончательного завершения сейсморазведочных работ. Например, модель строения АМОБ по результатам работ первых лет на основе стратиграфической привязки, по [30], предложена в работе [15]. Между тем, стратиграфическая привязка отражающих границ уточнялась в процессе их проведения. Публикаций же, в которых был бы охвачен весь объем проведенных работ, нет. Поэтому необходимость обобщения всех сейсморазведочных работ, проведенных в пределах АМОБ, представляется очевидной.

Цель данного исследования – построение сейсмостратиграфической модели АМОБ, обобщающей все современные сейсморазведочные материалы и не противоречащей имеющимся геологическим данным.

Под сейсмостратиграфической моделью понимается привязка отражающих границ волнового поля к разрезам имеющихся на территории глубоких скважин, выделение сейсмокомплексов, разделенных угловыми несогласиями или согласно залегающих, отвечающих крупным тектоническим этапам в эволюции бассейна, описание их строения, сейсмофаций и построение структурной схемы бассейна.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Материалом для исследований послужили сейсморазведочные профили по Алдано-Майской (2006 г.), Восточно-Алданской (2008 г.), Хандыгской (2010 г.), Юдома-Майской (2012 г.), Северо-Хандыгской (2012 г.), Юдомской (2014 г.) и Алдано-Амгинской площадям (2014 г.). Схема сейсмических профилей приведена на рис. 1. При проведении сейсморазведочных работ и в настоящем исследовании привязка отражающих границ осуществлялась к скважинам: Хочомской, Нижнеамгинской, Усть-Майской, Лахандинской и Мокуйской (рис. 1, 2). Были построены (или использованы приведенные в производственных отчетах) маршруты, состоящие из нескольких сейсмических профилей, увязывающие расположенные на них скважины. Для изучения строения осадочного чехла бассейна также строились композитные разрезы, приближенные к поперечному и продольному сечениям бассейна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обоснование сейсмостратиграфической схемы

Вопросы стратиграфии, стратиграфические схемы территории, включающей АМОБ, рассматриваются в публикациях [6, 7, 13, 15, 16, 21, 27 и др.]. Наиболее подробное описание стратифицированных отложений рассматриваемой территории, обобщение результатов всех ранее проведенных исследований приводится в работе [21]. Как правило, рассматриваемая территория делится на три структурно-фациальные зоны (СФЗ): Учурскую, Майскую и Юдомо-Майскую [16]. Специально для АМОБ стратиграфическая схема была составлена В.Г. Варнавским [5]. Согласно этой схеме, Алдано-Майская плита разделена на четыре СФЗ, Юдомо-Майский авлакоген (прогиб) – на три. Дана их корреляция по свитам, привязка к общей стратиграфической шкале, увязка с магматизмом.

Осадочный чехол АМОБ сложен верхнепротерозойскими (рифей-вендскими), палеозойскими (кембрий) и мезозойскими (юра) отложениями. Верхнепротерозойский осадочный чехол АМОБ включает отложения уянской и учурской серий нижнего рифея, айчанской и керпыльской серий среднего рифея, лахандинской и уйской серий верхнего рифея, юдомской серии венда [5, 6, 15 и др.]. Следует отметить, что имеются вопросы в стратиграфии региона, появляются новые датировки, уточняющие возраст отложений [16, 22, 27, 32 и др.]. В ряде работ [16, 29] керпыльская серия отнесена к верхнему рифею. Скважинами вскрыты и увязаны с сейсморазведочными данными отложения от учурской серии нижнего рифея до юры. Пространственное положение скважин в условном масштабе, краткое описание литологии вскрытых ими осадочных комплексов, принятая в настоящей работе их стратиграфическая разбивка, увязка между собой и с основными отражающими горизонтами (ОГ) показана на рис. 2.

Привязка поля отраженных волн к скважине УМ366

Привязка поля отраженных волн показана на примере сейсмического профиля, проходящего через самую глубокую Усть-Майскую (УМ) скважину (3715 м), вскрывшую юрские, кембрийские, вендские и верхнерифейские отложения (рис. 3). Волновая картина представлена чередованием низко- и среднеамплитудных сейсмофаций и разделяющих их высокоамплитудных отражающих границ. Литологическая привязка последних показала, что подавляющее большинство их связано со сменой карбонатного разреза терригенным и наоборот (рис. 2). Разница в определенных по акустическому каротажу пластовых

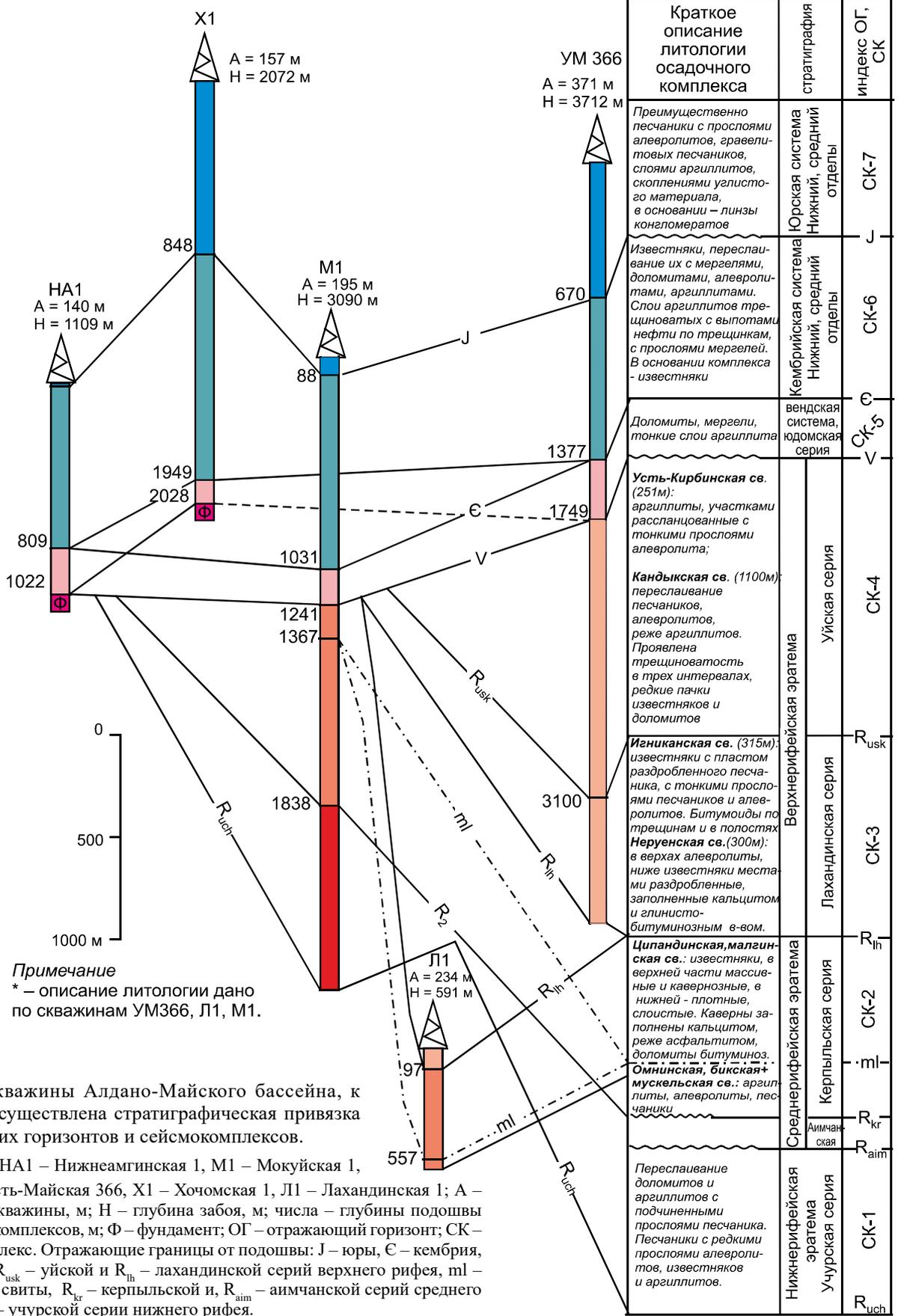


Рис. 2. Скважины Алдано-Майского бассейна, к которым осуществлена стратиграфическая привязка отражающих горизонтов и сейсмокомплексов.

Скважины: НА1 – Нижнеамгинская 1, М1 – Мокуйская 1, УМ366 – Усть-Майская 366, Х1 – Хочомская 1, Л1 – Лахандинская 1; А – альтитуда скважины, м; Н – глубина забоя, м; числа – глубины подошвы осадочных комплексов, м; Ф – фундамент; ОГ – отражающий горизонт; СК – сейсмокомплекс. Отражающие границы от подошвы: J – юры, E – кембрия, V – венда, R_{usk} – уйской и R_{ah} – лахандинской серий верхнего рифея, ml – малгинской свиты, R_{kr} – керпильской и R_{aim} – айманской серий среднего рифея, R_{uch} – учурской серии нижнего рифея.

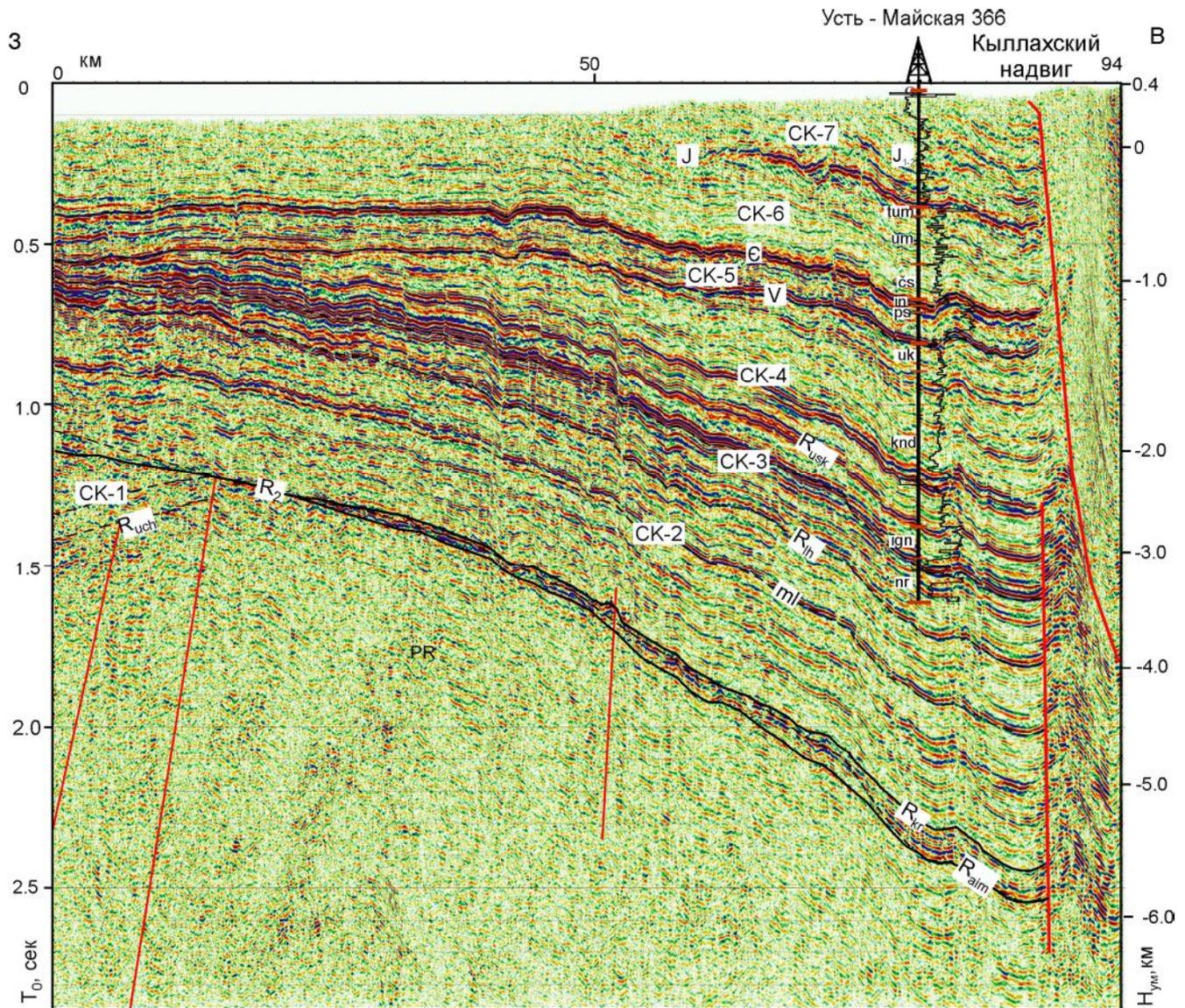


Рис. 3. Стратиграфическая привязка отражающих горизонтов к скважине Усть-Майская 366.

Стратиграфические подразделения, вскрытые скважиной: tum – тайханско-усть-мильский комплекс (C_2), um – усть-майская свита (C_2), čs – чайская свита (C_2), in – иниканская свита ($C_{1,2}$), ps – пестроцветная свита (C_1), uk – усть-кирбинская свита (R_3), knd – кандыкская свита (R_3), ign – игниканская свита (R_3), nr – неруенская свита (R_3).

скоростях карбонатных и терригенных толщ составляет от 1.5 до 2.5 км/с, что создает достаточно сильную отражающую границу. Как правило, эти контрастные высокоамплитудные отражения отвечают границам свит и серий. Для представленного на рис. 3 сейсмического разреза это границы, связанные с подошвой юры (J), венда (V), верхнерифейской уйской серии R_{usk} . Внутри толщи сильное отражение может быть связано с повышенной трещиноватостью, как, например, в кандыкской свите верхнего рифея – с трещиноватым кавернозным 25-метровым слоем аргиллитов. А отражающий горизонт (€) разделяет не венд и кембрий, а

нижний и средний кембрий, поскольку приурочен к маломощной иниканской свите нижнего кембрия, сложенной разуплотненными трещиноватыми аргиллитами, аномально выраженными в каротаже. Согласно геологическим данным, никаких глобальных тектонических событий на рубеже венда и кембрия не происходило, только углубление и расширение бассейна [27], поэтому вполне закономерно отсутствие отражения от их границы. Чередование карбонатных и терригенных слоев создает многофазные высокоамплитудные отраженные волны в игниканской и неруенской свитах лахандинской серии верхнего рифея (рис. 3).

Увязка поля отраженных волн со скважиной УМ366 дает однозначный вариант сеймостратиграфической схемы для верхнего рифея и более молодых комплексов.

Сеймостратиграфия среднерифейских отложений

Согласно принятой стратиграфии региона, среднерифейский комплекс представлен двумя сериями – аймчанской и керпыльской. Керпыльская серия состоит из двух частей: нижней терригенной и верхней карбонатной. Карбонатный комплекс включает ципандинскую и малгинскую свиты. Терригенная толща представлена несколькими свитами: на востоке тоттинской, на юге омнинской и кондерской, на севере мускельской и бикской [5, 16]. По мнению М.А. Семихатова, С.Н. Серебрякова [21], омнинская и кондерская, бикская и мускельская свиты являются составными частями тоттинской свиты [16]. Если терригенная толща состоит из двух свит, то нижняя ее часть обычно грубозернистая (кондерская, бикская), представленная песчаниками с прослоями алевролитов, а верхняя – тонкозернистая (омнинская, мускельская), состоящая преимущественно из аргиллитов. Основные проблемы с привязкой поля отраженных волн связаны со среднерифейскими комплексами: во-первых, с границей верхнего и среднего рифея, во-вторых, как уже упоминалось выше, с различной стратиграфической разбивкой разреза Мокуйской скважины (рис. 4). Скважина УМ366 не вышла из образований верхнего рифея. Первый высокоамплитудный отражающий горизонт ниже забоя скважины авторы сейморазведочных отчетов увязывают с подошвой ципандинской свиты керпыльской серии среднего рифея, следующий – с подошвой малгинской свиты (рис. 3). Тогда непонятно, где граница верхнего и среднего рифея? Логичнее интерпретировать первую высокоамплитудную волну ниже забоя скважины как границу верхнего и среднего рифея – R_{1n} , а ципандинскую свиту рассматривать вместе с нижележащей малгинской как единый сеймокомплекс. Обе свиты сложены карбонатными породами, но ципандинская преимущественно доломитами, а малгинская – известняками. Мощность ципандинской свиты очень изменчива [16, 21]. М.А. Семихатов и С.Н. Серебряков [21] предлагают рассматривать обе свиты «как единый карбонатный комплекс с диахронной границей между известняками и доломитами». На сейсмических разрезах иногда можно выделить ОГ, увязываемый с подошвой ципандинской свиты, но не повсеместно.

Таким образом, в принятой сеймостратиграфической схеме ципандинская и малгинская свиты рассматриваются как единый сеймокомплекс.

Вторая проблема была частично решена при построении маршрута, связавшего Лахандинскую и Мокуйскую скважины. Он позволил непрерывно проследить от Лахандинской скважины до Мокуйской отраженную волну от подошвы карбонатного комплекса, состоящего из малгинской и ципандинской свит («ml», рис. 5, а). Эта отраженная волна является устойчивой и прослеживается в пределах всего бассейна. В Мокуйской скважине этому комплексу соответствует интервал 1241–1367 м (рис. 2, 4). Наиболее близким к полученным сейморазведочным данным является стратиграфическое расчленение, предложенное в работе [11] (рис. 4). По нему в этом интервале предполагаются отложения ципандинской свиты. По В.В. Граусману, В.П. Жерновскому, в Мокуйской скважине присутствуют отложения верхнего рифея, и приведенный интервал соответствует игниканской свите лахандинской серии (рис. 4). Сейсмогеологический разрез, соединяющий недавно пробуренную Усть-Майскую скважину и Мокуйскую, показал, что верхнерифейские отложения выклиниваются восточнее Мокуйской скважины (рис. 5, б). По [30], в этом интервале предполагается светлинская свита аймчанской серии, вероятно исходя из предположения, что керпыльская серия выклинилась восточнее скважины (рис. 4). Но разрез на рис. 5, б показывает, что выклинивание керпыльского сиквенса происходит значительно западнее.

В интервале (1367–1838) м в Мокуйской скважине вскрыта терригенная толща, представленная преимущественно аргиллитами. Этот интервал уверенно выделяется пониженными значениями интервальной скорости (рис. 4). Согласно стратиграфической схеме, логично увязать эту толщу с омнинской свитой керпыльской серии, тем более, что она вскрыта в низах Лахандинской скважины (рис. 2, 5, а). Не исключено, что на востоке она переходит в тоттинскую, а в низах разреза появляется более грубозернистая кондерская свита. Непрерывные сейсмические разрезы, увязывающие Лахандинскую и Мокуйскую, Усть-Майскую и Мокуйскую скважины, показывают увеличение мощности тоттинской свиты в восточном и южном направлениях (рис. 5). По геологическим данным, мощность терригенной свиты имеет максимальные значения на юго-востоке – 900 м, на севере – 600 м. Мощности свиты по сейморазведочным данным соизмеримы с геологическими или несколько превышают их (рис. 5).

Аймчанская серия скважинами не вскрыта. Известно, что она представляет собой трансгрессивный цикл, развитый только в восточной части и к западу быстро выклинивающийся [16, 21, 30]. Мокуйская скважина расположена ближе к западной части бас-

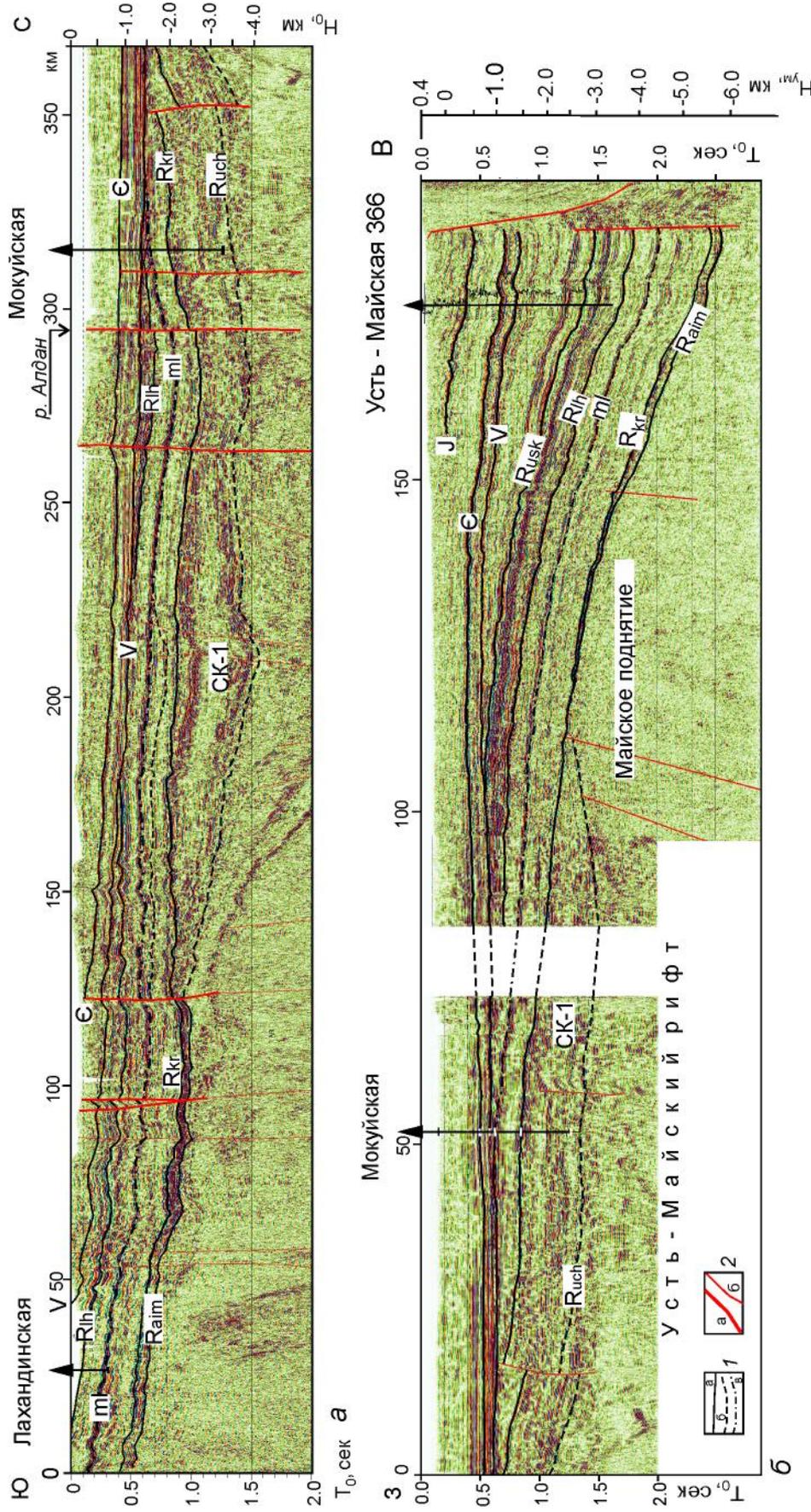


Рис. 5. Временные сейсмические разрезы, демонстрирующие увязку: а – Лахандинской 1 и Мокуйской 1 скважин по подошве малгинской свиты среднего рифея; б – Усть-Майской 366 и Мокуйской 1. По материалам ООО «Якутскгеофизика» с дополнениями и изменениями.

Положение линий разрезов показано на рис. 1.

H_0 – глубина от линии приведения (+400 м), $H_{ум}$ – глубина от уровня моря; T_0 – двойное время пробега отраженной волны.

1 – отражающие границы: а – уверенные, б – предполагаемые, в – опорная отражающая граница от подошвы малгинской свиты; 2 – разломы: а – уверенные, б – предполагаемые. Стратиграфическую увязку отражающих границ см. на рис. 2.

сейна (рис. 1), поэтому логично, что айчанская серия в ней отсутствует. Но неясно тогда, где в поле отраженных волн айчанская серия? Авторы сейсморазведочных отчетов предполагают, что ей отвечает толща в низах среднерифейского комплекса, часто выраженная высокоамплитудной сеймофазией, которая тоже распространена только в юго-восточной части бассейна (рис. 3, 5).

Приведенные выше данные свидетельствуют, что благодаря непрерывным сейсмическим разрезам удалось уточнить стратиграфическое расчленение разреза Мокуйской скважины и идентифицировать в волновом поле керпыльскую серию среднего рифея. Керпыльская серия вскрыта в интервале (1241–1838) м и состоит из нижней терригенной (омнинской свиты) и верхней карбонатной (малгинская + ципандинская свиты) частей. Менее надежно увязана айчанская серия.

Идентификация нижнерифейских отложений в поле отраженных волн

Нижнерифейские отложения учурской серии в Мокуйской скважине выделяют все вышеперечисленные авторы, но по данным [11, 30] – с глубины 1838 м, по В.В. Граусман, В.П. Жерновскому – с глубины 2193 м, по [21] – с глубины 2104 м. Последнего варианта разбивки придерживаются авторы сейсморазведочных отчетов. На данном этапе невозможно однозначно определить границу среднего и нижнего рифея. Принимая во внимание, что по данным вертикального сейсмического профилирования и акустического каротажа Мокуйской скважины (рис. 4) омнинская свита среднего рифея отличается пониженной пластовой скоростью и отражения от ее границ наиболее интенсивные, а айчанские отложения здесь отсутствуют, логично считать кровлей нижнерифейских отложений отражение от подошвы омнинской свиты.

Таким образом, в выбранной модели нижнерифейские отложения начинаются с глубины 1838 м, что соответствует стратиграфическому расчленению разреза Мокуйской скважины по [11], которое, как показано выше, является наиболее близким к данным сейсморазведки.

На сейсмогеологических разрезах в настоящей работе отмечены те отражающие границы, которые разделяют сейсмокомплексы (СК), соответствующие крупным стратиграфическим подразделениям ранга серий или систем. Это отражения, связанные с подошвой учурской серии нижнего рифея – R_{uch} , среднего рифея – R_2 (айчанской – R_{aim} , керпыльской серий – R_{kr}), лахандинской – R_{ln} , уйской серий – R_{usk} , венда – V , кембрия – E , и юры – J (рис. 2, 3). Отражение от подошвы малгинской свиты является наиболее устой-

чивым, хорошо распознается практически на всех сейсмических разрезах и является репером при их увязке. Оно также отмечено на разрезах в настоящей работе как горизонт «ml».

Выбранная сейсмостратиграфическая схема бассейна не противоречит имеющимся геологическим данным. Наименее надежно осуществлена привязка айчанской серии среднего рифея.

СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

На рис. 2 приведена схема увязки разрезов скважин АМОБ с выделенными сейсмокомплексами, дана их стратиграфическая привязка и краткая литологическая характеристика. Выделено 7 сейсмокомплексов: нижнерифейский (СК-1), среднерифейский (СК-2), верхнерифейские лахандинский (СК-3) и уйский (СК-4), вендский (СК-5), кембрийский (СК-6) и юрский (СК-7).

Представление о строении осадочного чехла дают поперечные и продольные сейсмические разрезы – сечения. Поперечные разрезы построены из нескольких сейсмических профилей северо-западного – субширотного направлений, продольные – субмеридионального и северо-восточного направлений (рис. 6, 7). Следует отметить, что на территорию, включающую, в том числе, и площадь АМОБ, ранее построено несколько геолого-геофизических разрезов на основе материалов аэрофотогеологического картирования и скважинных данных [8]. Сейсмогеологические разрезы согласуются с этими разрезами, значительно уточняя глубинную структуру на территории АМОБ.

На поперечных сечениях хорошо видно, что границы АМОБ определяются областью распространения рифейских отложений, поскольку венд-кембрийские и юрские отложения распространяются далеко за пределы АМОБ. В связи с этим основное внимание уделено описанию строения рифейских сейсмокомплексов. Исследование строения сейсмокомплексов, продолжающихся за пределы рассматриваемого бассейна, таких как вендский, кембрийский и юрский (СК-5, 6, 7), требует привлечения дополнительных сейсморазведочных и геологических данных, поэтому в рамках изучения АМОБ они рассмотрены кратко.

Нижнерифейский сейсмокомплекс

Стратифицированные отложения нижнего рифея представлены в АМОБ уянской и учурской сериями. На юге АМОБ эти отложения выведены под эрозионный срез (рис. 1). Здесь нижнерифейские отложения слагают Учурский, Амуликанский, Алгаминский прогибы и другие, более мелкие структуры мощностью (350–1200) м по данным [5, 6] (рис. 10). По направле-

нию к северу нижнерифейский комплекс погружается на значительную глубину. Учурская серия нижнего рифея вскрыта в Мокуйской скважине в интервале 1838–3090 м [11]. Нижнерифейские отложения также обнажаются в ядре Горностахской антиклинали, расположенной на севере АМОБ в Кыллахской зоне ВСНП. Здесь они представлены хандинской серией – возрастным аналогом учурской [2, 16] – мощностью 1220 м [25]. Также они выходят на поверхность в зоне Кыллахского надвига. Неполная мощность отложений нижнего рифея составляет здесь 1400 м [25]. По некоторым данным, мощность отложений нижнего рифея может достигать около 4-х км [2, 5].

На сейсмических разрезах нижнерифейскому осадочному комплексу соответствует сейсмокомплекс СК-1, увязанный по Мокуйской скважине с отложениями учурской серии (рис. 5, 6). Граница учурской серии с нижележащими отложениями в Мокуйской скважине не вскрыта, и отражающий горизонт (R_{uch}), коррелируемый с ней, проводится в некоторой степени условно ниже забоя скважины (рис. 5, 6). На поперечных разрезах видно, что СК-1 распространен не повсеместно, а только в западной части АМОБ. В поле отраженных волн он характеризуется чередованием низко- и высокоамплитудных сейсмофаций (рис. 7, б). Вероятно, такая сейсмофациальная картина отражает литологическое строение учурской серии, состоящей из терригенной гонамской, карбонатной омахтинской и терригенно-карбонатной эннинской свит. Возможно, в результате размыва верхней части нижнерифейских отложений на поперечных разрезах СК-1 имеет двучленное строение, выраженное верхней низкоамплитудной и нижней высокоамплитудной сейсмофациями на юге (рис. 6, а, б). Сейсмофациальная картина в северо-восточном направлении становится более однородной по амплитуде (рис. 6, в, 7, б). Возможно, это связано с тем, что по литологическим признакам обстановки осадконакопления отложений учурской серии на севере отвечают более глубоководному бассейну [21, 32 и др.].

Ниже предполагаемой подошвы учурской серии (R_{uch}) фрагментарно наблюдается упорядоченная сейсмическая запись (рис. 5–7). Возможно, эти отражения связаны с уянской серией нижнего рифея, как

предполагают авторы работы [2]. Учурская серия залегает на уянской со стратиграфическим перерывом и азимутальным несогласием [13 и др.]. В Учурском грабене наблюдается погружение пород уянской серии под образования учурской серии [6]. На сейсмических разрезах чаще всего видно согласное залегание учурской серии и нижележащих отложений, особенно в западной части (рис. 6). Отсутствие привязки этих отложений к скважинам, фрагментарность отраженных волн и невыразительность нижней границы не позволяют делать выводы о структуре и области распространения этих образований.

На юге в Учурском прогибе и на северо-востоке в районе Горностахской антиклинали, где ранне- и среднерифейские отложения выходят на поверхность, наблюдается размыв и несогласное залегание среднерифейских отложений на нижнерифейских [2, 5, 25 и др.]. На сейсмическом разрезе продольного направления также наблюдается угловое несогласие, обусловленное срезанием СК-1 среднерифейскими отложениями (рис. 5, а, 7, б). На западе нижнерифейский СК-1 и среднерифейский СК-2 лежат визуально согласно (рис. 6). Наблюдается выклинивание нижней высокоамплитудной части нижнерифейского СК-1, увязываемой с гонамской свитой, в западном направлении (рис. 6, а, б). Для вышележащих отложений СК-1 и для СК-2 характерно срезание их вендскими отложениями, что свидетельствует о главной роли в формировании западной границы бассейна предвендской тектонической перестройки (рис. 6, а–в).

Характер седиментации на восточной границе нижнерифейских образований и взаимоотношение СК-1 с фундаментом и со среднерифейскими (керпильской серией) комплексами продемонстрированы на сейсмическом разрезе поперечного направления (рис. 8, а). Восточным ограничением СК-1 является Майское поднятие. Существуют разные мнения относительно времени его формирования. По [2] – это конец раннего рифея, по [26] – аимчанское время. По данным [21], во время формирования гонамской свиты снос материала происходил не только с запада, но и с востока, что свидетельствует о существовании поднятия во время ее формирования, а на границе учурского и аимчанского этапов территория испытывала

Рис. 6. Сейсмостратиграфические глубинный (а) и временные (б, в, г) разрезы, демонстрирующие строение Алдано-Майского осадочного бассейна вкрест его простирания. По материалам ООО «Якутскгеофизика» с дополнениями и изменениями. Положение линии разрезов показано на рис. 10.

1 – отражающие границы, разделяющие крупные осадочные комплексы, а – уверенные, б – предполагаемые; 2 – опорный отражающий горизонт, приуроченный к подошве малгинской свиты среднего рифея; 3 – разломы: а – основные, б – второстепенные; 4 – скважина и ее наименование: НА1 – Нижнеамурская 1, М1 – Мокуйская 1, У-М366 – Усть-Майская 366. $H_{ум}$ – глубина от уровня моря; T_0 – двойное время пробега отраженной волны. Стратиграфическую привязку отражающих границ см. на рис. 2.

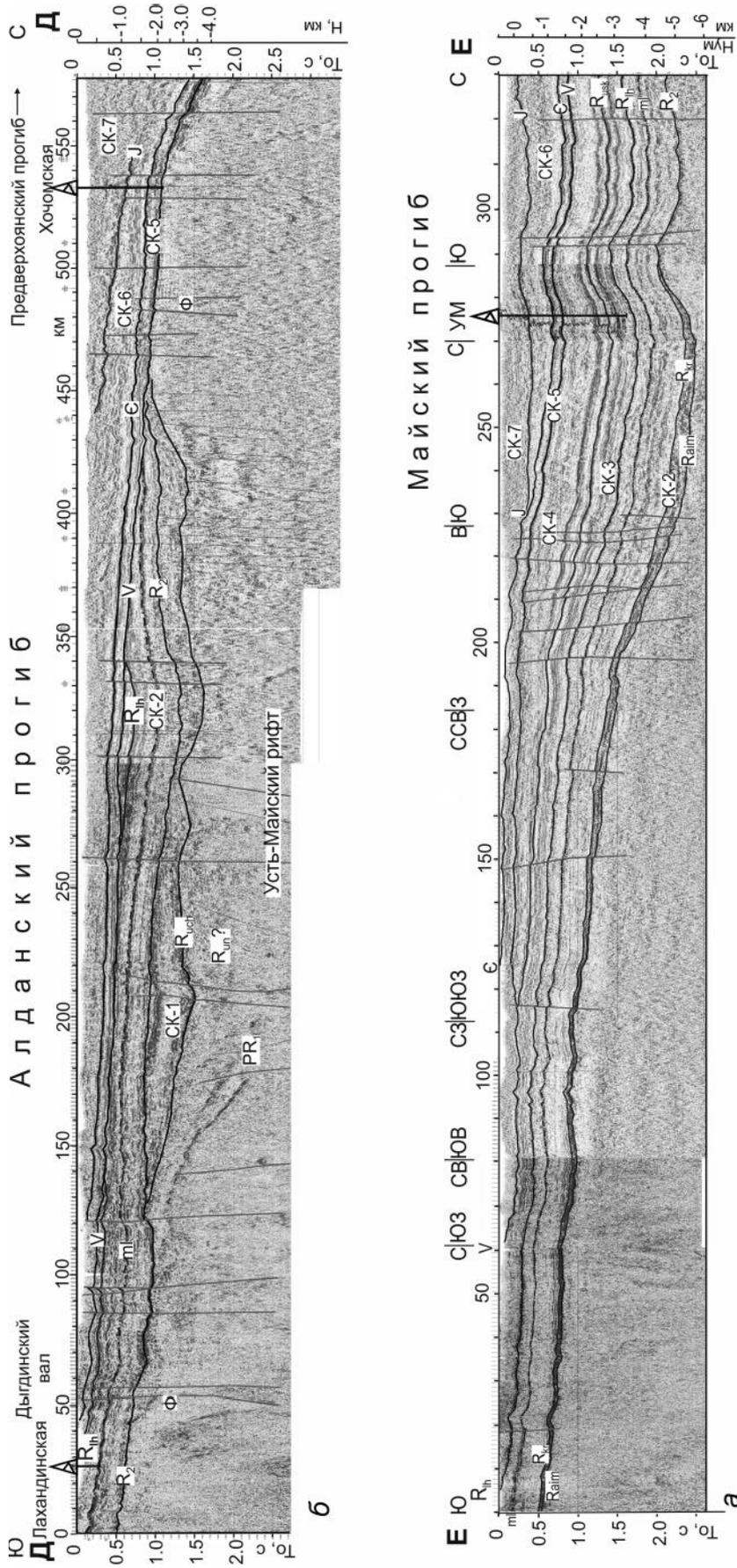


Рис. 7. Сейсмостратиграфические временные разрезы, демонстрирующие строение Алдано-Майского осадочного бассейна вдоль его простирания. *а* – восточной части, *б* – центральной части. По материалам ООО «Якутскгеофизика» с дополнениями и изменениями. Положение линии разрезов показано на рис. 10.

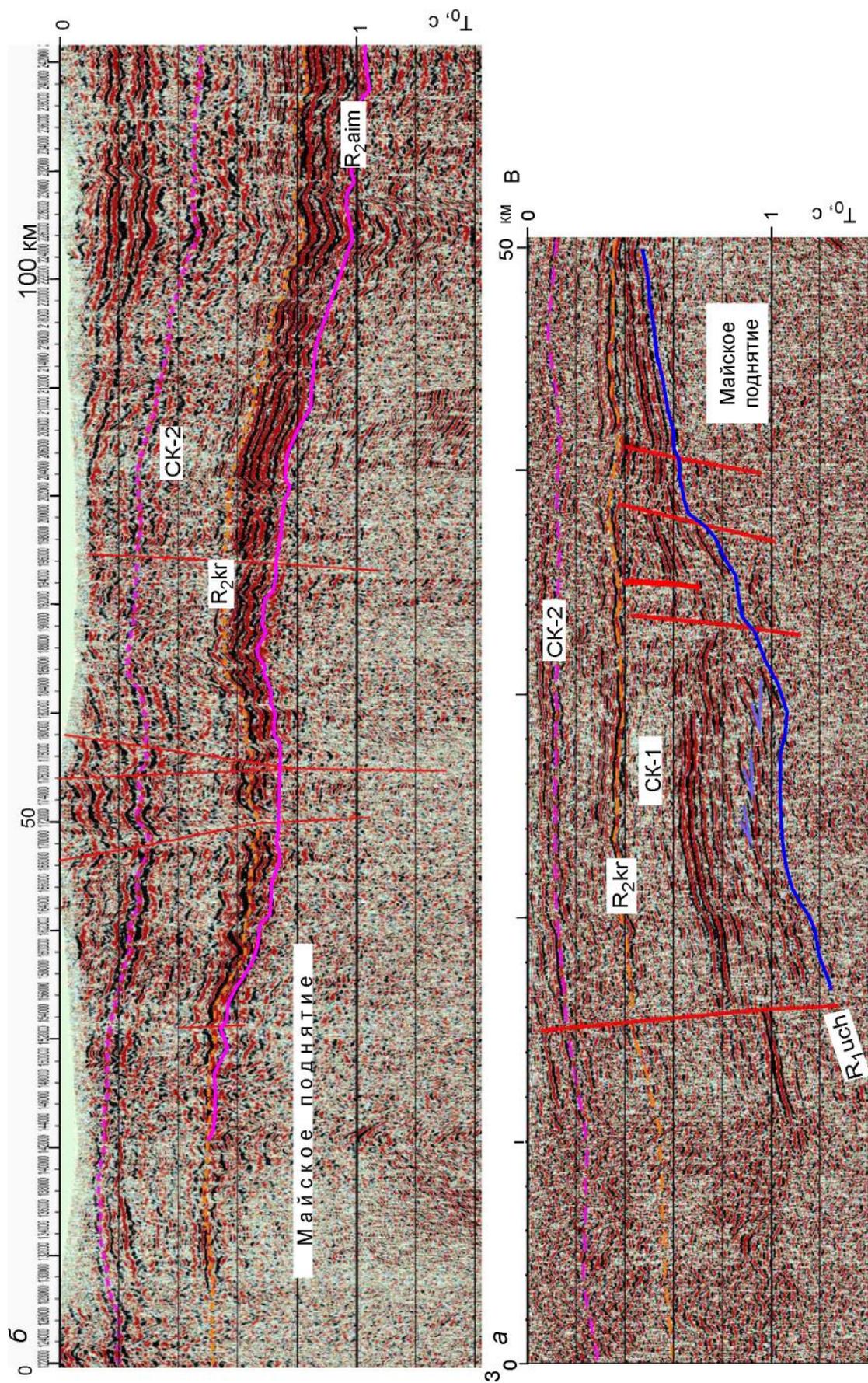


Рис. 8. Фрагменты сейсмостратиграфических разрезов, демонстрирующие строение: а – учурской серии, б – аймчанской.

общее поднятие. По сейсмическим данным в нижней высокоамплитудной сейсмотолще, соответствующей гонамской свите, довольно уверенно фиксируются клиновидные фации, свидетельствующие о склоновых обстановках осадконакопления и сносе осадочного материала с востока, что согласуется с выводами по [21, 32] (рис. 8, а). Для низкоамплитудной сейсмотолщи, увязываемой с омахтинской и эннинской свитами, трудно однозначно определить характер ее взаимоотношения с выше- и нижележащими отложениями. В краевой зоне это, вероятно, подошвенное налегание. В кровле угловое несогласие между керпыльской и учурской сериями связано, видимо, с редукцией нижнерифейских отложений (рис. 8, а).

СК-1 прослежен сейсморазведкой в северо-восточном направлении на расстояние 400 км. Он лежит в основании крупной структуры северо-восточного простирания – Алданского прогиба (рис. 6, 7, б). На северо-востоке в районе Горностахской антиклинали Алданский прогиб сочленяется с Кыллахской зоной ВСНП субмеридионального направления. Отражающий горизонт R_{uch} , коррелируемый с подошвой учурской серии, проведен здесь условно из-за сложной волновой картины (рис. 6, з). В пределах Кыллахской зоны нижнерифейские отложения выходят на поверхность в районе Кыллахского, Эбейке-Хаятинского надвигов и ядре Горностахской антиклинали. По геологическим данным, в ядре Горностахской антиклинали наблюдается угловое несогласие ($13\text{--}20^\circ$) между ниже- и среднерифейскими отложениями [21, 25, 32]. Кроме того, здесь же под отложениями нижнего рифея обнаружены ордовикские субвертикально залегающие породы [25]. Авторы объясняют это надвижением аллохтонной пластины и образованием здесь дуплексов в результате мезозойской сдвиговой тектоники. По сейсмическим данным также наблюдается резкое угловое несогласие в районе Горностахской антиклинали (рис. 6, з). Поскольку сейсмический разрез пересекает только небольшую часть Горностахской антиклинали, то трудно сделать объективные выводы об образовании этого несогласия. Возможно оно связано с тем, что сместитель надвига проходил по айчанской свите, а нижнерифейские отложения оставались на месте. На юго-западе Алданский прогиб сочленяется с праУчурской впадиной, в современном виде представленной отдельными прогибами: Алгаминским, Учурским и др. (рис. 10). По геологическим данным, для южной части рассматриваемой территории (праУчурской впадины) наблюдаются зоны накопления краевых фаций как на западе, так и на востоке, что свидетельствует о том, что первоначальные границы бассейна были ненамного больше их современного положения [21]. Судя по сейсмораз-

ведочным материалам, западная граница рифейского бассейна сформировалась вследствие уменьшения мощности отложений и, в большей степени, в результате воздымания территории в предъюдомское время. Восточная граница нижнерифейского бассейна обусловлена существованием Майского поднятия и общим воздыманием территории в айчанское время.

Среднерифейский сейсмокомплекс

Согласно стратиграфической схеме, средний рифей представлен айчанской и керпыльской сериями. Среднерифейский СК (СК-2) увязан со вскрытыми среднерифейскими образованиями в скважинах Мокуйской (интервал 1241–1838 м) и Лахандинской (100–591 м) (рис. 2). В Лахандинской скважине вскрыты контакт лахандинской серии верхнего рифея и керпыльской серии среднего рифея, верхняя часть керпыльской серии, представленная карбонатным комплексом, и верхи терригенной омнинской свиты (рис. 2). В Мокуйской скважине, по версии [11], уточненной по результатам сейсморазведочных работ, вскрыта толща в интервале (1241–1367) м, определенная как ципандинская+малгинская свиты, и аргиллитовая толща, отнесенная к бикской и мускельской свитам – возрастному аналогу тоттинской свиты, слагающей нижнюю терригенную часть СК-2 (рис. 2).

Скважинами вскрыта только керпыльская серия, хотя в Мокуйской скважине ниже среднерифейского комплекса при всех существующих разбивках установлены нижнерифейские отложения. Это говорит о локальном распространении айчанской серии. Она выходит на поверхность на севере и юге Юдомо-Майского прогиба, при этом отмечается резкое сокращение ее мощности в западном направлении от полутора километров до первых сотен и даже десятков метров в пределах Алдано-Майской плиты [21, 27 и др.]. На юге айчанская серия и нижнерифейские образования территориально разобщены, и айчанская серия залегает непосредственно на фундаменте [21]. Все это свидетельствует о том, что во время отложения айчанской серии депоцентр осадконакопления смещается на восток в результате формирования Майского поднятия. На айчанском этапе начал формироваться Юдомо-Майский прогиб (ЮМП) (рис. 6, 7, а) [21].

На сейсмических разрезах с айчанской серией сопоставлена сейсмотолща высокоамплитудной сейсмофации, наблюдаемая в подошве СК-2 в восточной части (рис. 3, 5, 6, 8, б). На приведенных сечениях хорошо видно возрастание мощности высокоамплитудной сейсмотолщи в восточном направлении от 200–400 метров на Алдано-Майской плите до 1–1.5 км в ЮМП (рис. 6, а–в), что наглядно подтверждает сме-

щение депоцентра осадконакопления далеко на восток. На сейсмическом разрезе северной части АМОБ сейсмотолща, увязываемая с аимчанской серией, предполагается только в пределах Кыллахской зоны (рис. 6, *з*). Здесь фиксируется угловое несогласие сейсмокомплексов, слагающих Юдомо-Майский прогиб, с нижнерифейским СК-1, лежащим в основании Алданского прогиба. Это несогласие, как уже отмечалось, возможно, образовалось во время мезозойского сдвигобразования, когда детачмент надвига проходил по аимчанской свите, а нижнерейские отложения оставались на месте.

Керпильская серия трансгрессивно с разрывом в основании, но без углового несогласия, налегает на аимчанскую серию, причем керпильская трансгрессия была намного масштабнее предыдущих [21]. Источник сноса отодвигается далеко на запад. На западе АМОБ керпильская серия налегает на эродированную поверхность нижнерифейских отложений (рис. 6, 7 *б*). Она составляет основную часть СК-2 и, как видно на продольных и поперечных сечениях, имеет максимальное распространение на территории АМОБ (рис. 6, 7). В ядре Горностахской антиклинали по цирконам предполагается источник сноса обломочного материала с возрастом менее 1700 млн лет, что авторами интерпретируется как неизвестный, возможно связанный с формированием суперконтинента Родинии, восточный источник [20, 32].

Представлена керпильская серия преимущественно низкоамплитудной сейсмофазией. В средней части устойчивым, выдержанным отражающим горизонтом отмечена граница терригенной и карбонатной частей керпильской серии, увязанная с подошвой малгинской свиты. Этот ОГ, обозначенный «ml», уверенно распознается на сейсмических разрезах (рис. 3, 5–7). Мощность керпильской серии возрастает в восточном направлении, достигая максимальных значений в ЮМП. Она составляет перед Нелькано-Кыллахскими надвигами 1000 м на севере, 2000 м в центральной части и на юге (рис. 6). В ЮМП ее мощность еще увеличивается, при этом залегает она на глубинах 7–10 км (рис. 6, *а*). Уменьшение мощности в западном направлении свидетельствует о постепенном выклинивании СК-2. Но основной причиной западного ограничения СК-2, как и СК-1, является все-таки предвентское воздымание и эрозия. Причем срезание верхней карбонатной части керпилья происходит значительно западнее, на 50–70 км (рис. 6). В южной части АМОБ СК-2 выведен на эрозионную поверхность (рис. 6, *а*, 7). В неэродированной части уменьшения мощности в южном направлении не наблюдается (рис. 6, 7).

Верхнерифейский сейсмокомплекс

Верхнерифейские отложения представлены в рассматриваемом регионе двумя сериями, лахандинской и уйской. Им соответствуют сейсмокомплексы СК-3 и СК-4. Верхнерифейские осадочные комплексы вскрыты в Усть-Майской скважине, расположенной в непосредственной близости от Нельканского разлома, то есть для Алдано-Майской плиты вскрыты в максимальном объеме (рис. 3). На сейсмических разрезах наблюдается согласное взаимоотношение верхнерифейских сейсмокомплексов с нижележащим СК-2 (рис. 6, 7).

Лакандинский комплекс (СК-3) наиболее полно представлен в поперечных сечениях центральной части бассейна (рис. 6, *б*, *в*) и в продольном разрезе (рис. 7, *а*). Область распространения СК-3 сильно сокращена за счет воздымания и значительной эрозии территории бассейна на юге и западе в предвентское время (рис. 6, 7, *б*). Мощность его, как и СК-2, возрастает в восточном направлении, изменяясь от 400–550 м в неэродированной части до 800–900 м в районе Нельканского разлома (рис. 6, *б*, *в*). В ЮМП мощность СК-3 составляет более 2-х км (рис. 6, *а*). Для лакандинского комплекса, как и для керпильского, наблюдается уменьшение мощности к северу бассейна, а в южном направлении его мощность даже увеличивается. Для СК-3 характерна высокоамплитудная сейсмофазия в средней части комплекса, обусловленная переслаиванием терригенных и карбонатных отложений.

Уйская серия верхнего рифея (СК-4) имеет наименьшую область распространения. Ее завершается осадконакопление в Юдомо-Майском прогибе. Мощность СК-4 резко, с высоким градиентом убывает в западном направлении (рис. 6, 7, *а*). Это обусловлено, прежде всего, регрессивным характером седиментации, а также предвентской эрозией. Также мощность уйской серии сокращается к югу и северу (рис. 6). Величина ее мощности в центральной части бассейна перед Нельканским разломом составляет 1500 м (рис. 6, *б*, *в*), а в ЮМП может быть в 2–3 раза больше (рис. 6, *а*) [25]. СК-4 выражен преимущественно низкоамплитудной сейсмофазией, осложненной в восточной части ярко выраженной высокоамплитудной сейсмотолщей, постепенно выклинивающейся к западу. Она увязывается по скважине УМ с толщей трещиноватых аргиллитов. В каротажных диаграммах она также четко выделяется. Сейсмотолща следится на всех поперечных разрезах (рис. 6, *а–в*) и продольном сечении (рис. 7, *а*). По геологическим данным, осадконакопление уйского времени отличается от предыдущих рифейских обстановок. Во-первых, это

терригенное осадконакопление. Во-вторых, существование двух источников сноса, западного и восточного [21, 32 и др.]. Западный (Сибирская платформа) источник характерен для всех комплексов, слагающих ЮМП. Восточный источник сноса фиксируется преимущественно для учурского и уйского времени. Для учурского этапа осадконакопления восточным источником служило, по крайней мере, на юге, Майское поднятие. Для уйского предполагается существование экзотических источников, анализ которых дается в работе [32]. По данным [21], западный источник сноса значительно приблизился в это время, но для восточной части, для ЮМП, основной привнос осадков был с восточного поднятия. Внедрение силлов основного состава в нижнюю часть уйской серии, состав пород и скорость прогибания предполагают рифтогенный характер осадконакопления уйской серии [32 и др.]. По мнению авторов, этот этап рифтогенеза привел к образованию Верхоянского океана.

Вендский и кембрийский сейсмокомплексы

Вендский осадочный комплекс вскрыт всеми скважинами на территории АМОБ за исключением южной части, где вендские отложения значительно эродированы (рис. 2). Мощность вендского комплекса составляет обычно первые сотни метров. На сейсмических разрезах ему соответствует сейсмокомплекс СК-5. Он уверенно распознается в поле отраженных волн высокоамплитудными отражениями в кровле и подошве, стабильной мощностью и является одним из реперов при расшифровке поля отраженных волн (рис. 5–7). По данным привязки волнового поля к скважине УМ 366 уточнено, что в состав СК-5 кроме юдомской серии венда входят нижнекембрийские отложения, представленные пестроцветной (40–200 м) и иниканской (22–79 м) свитами (рис. 3). Таким образом, отражающий горизонт между СК-5 и вышележащим СК-6 разделяет не венд и кембрий, а нижний и средний кембрий. Мощность нижнекембрийских отложений увеличивается в западном направлении. Главной особенностью СК-5 является ярко выраженное угловое несогласие в подошве. СК-5 срезает разновозрастные отложения рифея, а к западу и северу от АМОБ ложится прямо на фундамент (рис. 6, б–г, 7, б). Предъюдомский рубеж отделяет стадию формирования ЮМП от широчайшей морской трансгрессии юдомского этапа, когда ниже уровня моря опустился и АМОБ, и Алданский щит [21]. Предполагаемая эрозия в предъюдомское время, по сейсмическим данным, составляет более 1000 м, а по геологическим данным – 2500 м [25]. На юге АМОБ СК-5 выходит на поверхность (рис. 6, а), а в северном направлении значительно погружен под образования кембрия и юры (рис. 7, б).

По сейсмическим данным, среднекембрийский сейсмокомплекс (СК-6) залегает на вендском СК-5 без видимого углового несогласия. Для СК-6 характерны клиновидные сейсмофации (рис. 9). По геологическим данным, средний отдел кембрия представлен разными фациями: рифогенными, склоновыми, дельтовыми, лагунными. Выделение рифогенных структур на сейсмических разрезах очень важно, поскольку с ними могут быть связаны углеводородные скопления. По методике, выработанной при производстве сейсморазведочных работ, клиновидным сейсмофациям соответствуют склоновые и лагунные отложения, а хаотическая запись или отсутствие отражений, тесно связанные с ними, отвечают рифогенным структурам.

Мощность венд-кембрийского осадконакопления, по сейсмическим данным и без учета размыва, составляет 1–2 км в северной части АМОБ. На юге этот структурный ярус выходит под эрозионный срез и частично или полностью размывает.

Юрский сейсмокомплекс

Юрские отложения (СК-7) залегают на кембрийских с глубоким размывом и угловым несогласием (рис. 6, в, г, 7). Мощность их увеличивается в направлении Предверхоанского прогиба, расположенного севернее АМОБ (рис. 7, б). В пределах АМОБ мощность СК-7 нарастает и к востоку (рис. 6, 7, а). В целом, юрский СК, являясь самым верхним и маломощным, расположен на большей части рассматриваемой площади выше зоны полезной сейсмической записи. В этой связи по сейсмическим данным невозможно судить о его сейсмофациях. Литостратиграфические и промыслово-геофизические характеристики юрских отложений по геолого-геофизическим материалам рассмотрены в работе [23]. Предполагается, что в ранней юре территория, включающая площадь АМОБ, испытывала равномерное погружение, во время которого накопилось 350–450 м осадков. В средней-поздней юре сформировалось Чаро-Учурское поднятие, служившее источником сноса для южной окраины Виллойской синеклизы [25].

Рифтогенный промежуточный комплекс

В основании АМОБ некоторые исследователи выделяют Усть-Майский рифт [2, 25]. Наличие рифтовых зон в основании осадочного чехла Сибирской платформы, в целом, и Алдано-Майского бассейна, в частности, предполагается многими исследователями [2, 14, 25, 31]. Последние исследования с использованием новых данных сейсморазведки, в том числе геотраверсов, позволили уточнить их положение, возраст и строение [26, 28]. В отношении АМОБ нет единого мнения относительно времени рифтогенеза. По дан-

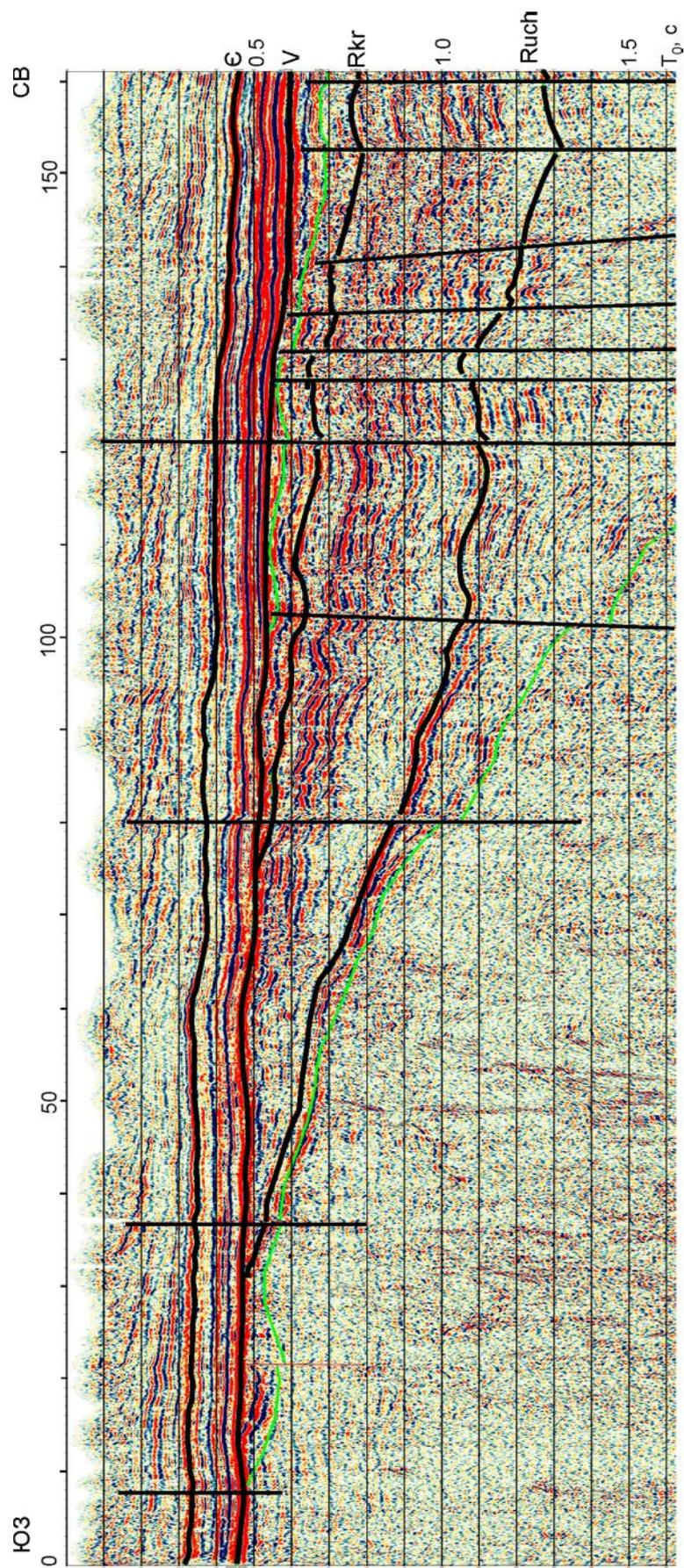


Рис. 9. Фрагмент сейсмостратиграфического разреза, демонстрирующий клиновидные сейсмofации кембрия.

ным [2], рифт имеет раннепротерозойский возраст, что согласуется с [10, 14]. Авторы выделяют Улканскую палеорифтовую структуру, представленную контрастной серией осадочно-вулканогенных пород, гранитоидами и базитами улканского вулканоплутонического комплекса. Предполагается, что эти породы сформировались в связи с деятельностью мантийного плюма 1.77–1.70 млрд лет назад. По мнению [32], рифтогенной является учурская серия. В монографии [25] Усть-Майский рифт отмечен как средне-верхнерифейский. В.Г. Варнавский к рифтогенным отложениям относит улканскую серию, а весь рифейский чехол – к рифтогенно-депрессивному типу [5].

На продольном сейсмическом разрезе ниже СК-1 (учурской серии) видны крутонаклонные фрагментарные границы (рис. 7, б). На поперечных разрезах можно также наблюдать фрагменты уже более пологих высоко- и среднеамплитудных отражений (рис. 6, б–г). Как правило, они прослеживаются ниже учурской серии, лежащей в основании Алданского прогиба. В работе [2] предполагается, что эти сейсмифации отвечают Усть-Майскому рифту. Возможно, они коррелируют с рифтогенной улканской серией нижнего протерозоя. В пределах Кыллахской зоны, где нижнерифейские отложения выходят на поверхность в районе Кыллахского, Эбейке-Хаятинского надвигов и в ядре Горностахской антиклинали, по данным [32], нижнерифейские отложения имели смешанный источник питания, в том числе из образований, подобных таковым Улканского грабена. Это может косвенно подтверждать более широкое распространение улканской серии.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЛДАНО-МАЙСКОГО БАССЕЙНА

Проведенные исследования по выбору сеймо-стратиграфической модели и изучению осадочного чехла послужили основой для построения структурной схемы АМОБ (рис. 10). Оконтуры нижне-, средне- и верхнерифейские сеймокомплексы. Для южной и юго-западной частей АМОБ, где рифейские осадочные образования выходят на поверхность, использована геологическая карта масштаба 1:2 500 000. Нижнерифейский сеймокомплекс, околтуренный по результатам сейморазведки, представлен учурской серией. Он лежит в основании Алданского прогиба. В юго-западной части нижнерифейский комплекс представлен учурской и уянской сериями [13]. Учурской серией сложен Алгаминский прогиб, являющийся, вероятно, продолжением Алданского прогиба (рис. 10). Амуликанский, Учурский прогибы сформированы уянской и учурской сериями, причем наблюдается погружение уянской серии под учурскую [13]. Уя-

нской серией представлена серия депрессий восточнее Учурского прогиба (рис. 10). Таким образом, получается, что учурской серией сложен Алдано-Алгаминский прогиб северо-восточного простирания, включающий учурские толщи Учурского и Амуликанского прогибов, а уянской серией – праУчурский прогиб, объединявший первоначально все небольшие, сохранившиеся до нашего времени депрессии в единую структуру субширотного простирания. Существует вероятность, что уянская серия продолжается под Алдано-Алгаминский прогиб. Глубоким бурением она не вскрыта и, соответственно, в поле отраженных волн не идентифицирована. Однако на ряде сейсмических разрезов ниже учурской серии наблюдаются отражающие границы, которые можно сопоставить с уянскими образованиями, но пока это только предположения [2].

Основной структурой АМОБ является Юдомо-Майский прогиб, сформированный средне-верхнерифейскими отложениями и занимающий большую часть его территории. ЮМП представляет собой асимметричную структуру с относительно крутым восточным бортом и пологим западным. В результате позднемезозойского тектогенеза ЮМП разделен на деформированную надвигами восточную часть субмеридионального простирания, составляющую на современных тектонических картах Кыллахскую зону Верхоянского складчато-надвигового пояса, и западную клиновидную, называемую Алдано-Майской плитой (рис. 10). В Кыллахской надвиговой зоне структура осадочного чехла сохраняется, хотя и отмечается дополнительное уплотнение пород. Расположенная восточнее Сетте-Дабанская зона ВСНП в состав Алдано-Майского бассейна не включена из-за высокой степени деформированности пород. Майское поднятие отделяет нижнерифейские прогибы от ЮМП.

ИСТОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ АЛДАНО-МАЙСКОГО БАССЕЙНА

Согласно [25], осадочный чехол Сибирской платформы имеет следующие структурные ярусы, различающиеся своими структурными планами и разделенные региональными поверхностями несогласий: рифейский, венд-нижнепалеозойский, среднепалеозойский, верхнепалеозойский, мезозойский и кайнозойский. В АМОБ, расположенном на юго-восточной окраине, осадочный чехол представлен преимущественно рифейским, венд-палеозойским и юрским структурными ярусами. Таким образом, АМОБ, как большинство структур с длительной историей эволюции, представляет собой составной бассейн. Однако бассейнообразующими являются рифейские отложе-

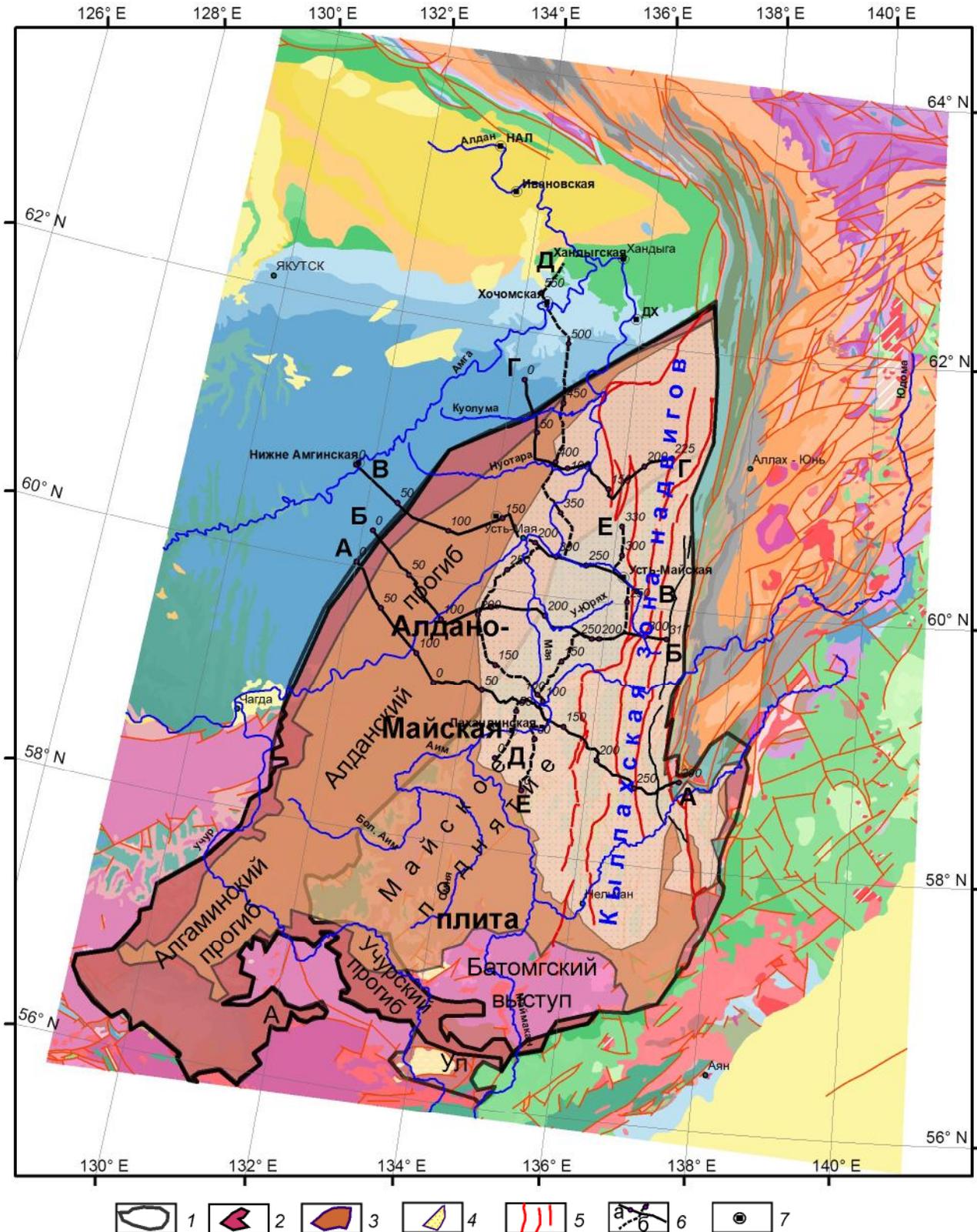


Рис. 10. Структурная схема Алдано-Майского осадочного бассейна. Основа – геологическая карта 1:2 500 000 масштаба. 1 – граница бассейна; 2 – контур распространения нижнерифейских отложений; 3 – контур распространения среднерифейских отложений; 4 – контур распространения верхнерифейских отложений; 5 – надвиги Кыллахской зоны Верхоянского складчато-надвигового пояса; 6 – линии сейсмостратиграфических разрезов, приведенных на рис. 6 и 7 (а – поперечного, б – продольного направлений); 7 – скважины, к которым осуществлялась привязка поля отраженных волн. А – Амультанский прогиб, Ул – Улканский прогиб.

ния, и область их распространения определяет границы бассейна. Наиболее значительные тектонические события, повлекшие за собой изменения структурного плана в АМОБ, происходили на рубежах раннего и среднего рифея, позднего рифея и венда, кембрия и юры. Каждому этапу формирования осадочного чехла соответствовала своя геодинамическая обстановка. Образованию рифейского бассейна предшествовал раннепротерозойский рифтогенез, сопровождавшийся формированием Улканского [10, 14] и Усть-Майского (?) рифтов [2]. На современном этапе Улканский грабен выведен на поверхность, а Усть-Майский рифт предполагается на глубине более 4-х км. В раннем рифее территория АМОБ испытывала дифференцированные тектонические движения. Сохранившимся свидетельством погружения являются Алданский, Учурский, Алгаминский, Амуликанский прогибы и другие, более мелкие структуры. На юге АМОБ они выведены в процессе эволюции под эрозионный срез, а северный Алданский прогиб находится на глубине от 0.5 до 4-х км (рис. 6, СК-1). По некоторым данным одновременно с формированием нижнерифейского бассейна (учурской серии) образовалось Майское поднятие, так как есть свидетельства существования во время отложения гонамской свиты нижнего рифея восточного источника сноса [21, 32]. Предполагается, что Майское поднятие является продолжением Батомгского выступа архейского фундамента [2]. По мнению других, Майское поднятие сформировалось в аимчанское время среднего рифея [27]. Более определенно можно утверждать, что с аимчанского времени депоцентр сместился далеко, более чем на 250 км, на восток (рис. 6, а) и началось формирование Юдомо-Майского прогиба (СК-2, 3, 4). В керпыльское время среднего рифея произошла крупная морская трансгрессия, во время которой накопилась мощная толща осадков, величину которой приблизительно можно оценить в 5–8 км в восточной погруженной части (СК-2, 3, рис. 6, а). По геологическим данным, для времени формирования аимчанской – лахандинской серий реконструируется обстановка внутриконтинентального моря [5, 32]. В уйское время позднего рифея площадь морского бассейна значительно сократилась. Существует мнение о рифтинге во время отложения уйской серии, о чем свидетельствуют внедрение мафических силлов и другие признаки [32 и др.]. Строение Юдомо-Майского прогиба резко асимметричное с погруженным восточным бортом, где мощность осадочного чехла доходит до 12 км, и пологим западным краем. Прогиб был значительно деформирован в результате мезозойского тектогенеза. В современном структурном плане Юдомо-Майский прогиб представлен двумя структурами: Алдано-Майской плитой и Кыллах-

ской зоной надвигов. Отложения ЮМП составляют основной объем осадочного чехла АМОБ, особенно в южной и восточной частях (рис. 6, 7).

Следующий этап осадконакопления, вендский (СК-5), наступил после того, как произошли значительные изменения в рельефе, связанные с воздыманием территории, преимущественно его юго-западной части, и эрозией осадочного чехла (рис. 6, 7). Есть данные, что величина эрозии составляла до 2.5 км [25], по сейсмическим данным – не менее 1 км. В венде начинается крупная трансгрессия, охватившая весь Сибирский континент, максимум которой пришелся на ранний-средний кембрий [25]. В этот временной промежуток АМОБ представлял собой краевую зону пассивной континентальной окраины [25], о чем свидетельствует присутствие клиновидных сейсмофаций в кембрийском СК-6 (рис. 9). Среднепалеозойский структурный этаж, представленный рифтогенными авлакогенами, сохранившимися преимущественно в центральной зоне ВСНП, на территории АМОБ отсутствует. Тесно связанный с ним этап осадконакопления, обусловленный термальным опусканием в позднем палеозое, широко развит в ВСНП по площади и имеет большую мощность [25], но на территории АМОБ также не встречается. Юрский терригенный осадочный комплекс (СК-7) залегает на венд-кембрийских отложениях с глубоким размывом и уловым несогласием (рис. 6, в, г, 7). Предполагается, что в нижней юре территория, включающая площадь АМОБ, испытывала равномерное погружение, во время которого накопилось 350–450 м осадков. В средней-поздней юре сформировалось Чаро-Учурское поднятие, служившее источником сноса для южной окраины Вилуйской синеклизы. В целом предполагается на этом этапе геодинамическая обстановка активной континентальной окраины [25]. По геологическим данным, юрское осадконакопление происходило в едином Арктическом супербассейне, объединяющем Западно-Сибирскую плиту, Сибирскую платформу и Верхояно-Колымскую складчатую область [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были решены следующие задачи.

1. Обоснована сейсмостратиграфическая схема АМОБ. В принятой схеме карбонатные свиты, ципандинская и малгинская, керпыльской серии среднего рифея рассматриваются как единый сейсмокомплекс. С помощью сейсмических разрезов, соединяющих несколько глубоких скважин, удалось уточнить стратиграфическое расчленение разреза Мокуйской скважины и идентифицировать в волновом поле керпыльскую серию среднего рифея. Наиболее близким

к данным сейсморазведки является вариант стратиграфической разбивки, представленный в работе [11].

2. Исследовано строение осадочного чехла АМОБ, который разделен на 7 сейсмокомплексов: нижнерифейский СК-1, среднерифейский СК-2, верхнерифейские лахандинский СК-3 и уйский СК-4, вендский СК-5, кембрийский СК-6 и юрский СК-7. Угловое и стратиграфическое несогласие наблюдается между СК-1 и СК-2, нижнерифейскими и среднерифейскими последовательностями. Самое значительное несогласие фиксируется между рифейскими сейсмокомплексами и вендским СК. Также угловое и стратиграфическое несогласие прослеживается между кембрийским СК и юрской последовательностью. Все несогласия свидетельствуют о крупных тектонических перестройках на этих рубежах. Причем на каждом этапе формируется своя осадочная структура.

3. Построена структурная схема АМОБ. Сделан вывод, что бассейнообразующими являются рифейские отложения. По линиям их выклинивания проведены границы бассейна на севере и западе. На юге бассейн ограничен выходами рифейских пород под эрозионный срез, и граница бассейна проведена с использованием геологической карты 1:2 500 000 масштаба. На востоке границей бассейна являются разломы, разделяющие Кыллахскую и Сетте-Дабанскую зоны Верхоянского складчато-надвигового пояса. В пределах АМОБ откартированы границы распространения нижнерифейских, среднерифейских и верхнерифейских осадочных комплексов.

4. Показано, что основной структурой АМОБ, структурой 1-го порядка, является Юдомо-Майский прогиб средне-позднерифейского возраста. Осадочные комплексы его распространены практически на всей территории бассейна. В современном тектоническом плане он представлен двумя структурами – Алдано-Майской плитой и Кыллахской зоной ВСНП. Вторым по значимости является Алдано-Алгаминский прогиб, сложенный учурской серией нижнего рифея. Разделяет их клинообразное Майское поднятие. Также по геологическим данным оконтурены нижнерифейские прогибы, сформированные уянской серией нижнего рифея, первоначально, вероятно, представлявшие единую структуру – праУчурский прогиб.

5. На основе полученных данных обобщения сейсмических работ и геологических материалов уточнена история развития АМОБ.

6. Предложенная сейсмостратиграфическая модель АМОБ отличается от модели, описанной в работе [15], прежде всего использованием разных вариантов стратиграфического расчленения среднерифейских отложений в разрезе Мокуйской скважины.

В исследовании [15] не учтены материалы сейсморазведочных работ по Алдано-Амгинской, Юдомо-Майской и Юдомской площадям, позволившие изучить строение западной и южной частей Алдано-Майской плиты, Кыллахской зоны Верхоянского складчато-надвигового пояса и в конечном итоге уточнить контуры распространения рифейских отложений, образующих Алдано-Майский осадочный палеобассейн.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор статьи глубоко признателен А.В. Прокопьеву, А.И. Сивцеву, А.П. Оболкину, В.С. Гриненко за предоставленные материалы и статьи, а В.А. Гурьянову и В.Г. Варнавскому – за поддержку, внимание и дискуссии, способствовавшие более глубокому пониманию исследуемого материала.

Огромное спасибо рецензентам В.С. Гриненко и В.Е. Кузнецову, которые нашли время для прочтения рукописи и дали положительную оценку проведенным исследованиям. Замечания и пожелания рецензентов были проработаны и учтены в окончательном варианте статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженова Т.К., Маргулис Л.С. Нефтегазообразование в Алдано-Майском бассейне Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2014. Т. 9, № 4. С. 1–17.
2. Берзин А.Г., Оболкин А.П., Севостьянов С.Ю., Егосин А.А., Дьяконова В.А. Новые данные по геологии Алдано-Майского прогиба // Отеч. геология. 2011. № 6. С. 21–26.
3. Берилко Г.А., Страхов А.Н., Шишкин Б.Б., Соболев П.Н. Прогноз потенциально нефтегазоносных зон рифея по сейсмическим данным в Предсеттедабанском прогибе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2012. № 1 (9). С. 79–85.
4. Варнавский В.Г., Кузнецов В.Е. Область рифей-венд-кембрийского седиментогенеза юго-восточной окраины Северо-восточного кратона // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 31, № 5. С. 67–79.
5. Варнавский В.Г. Алдано-Майский осадочный бассейн (Юго-Восток Северо-Азиатского кратона): литостратиграфия докембрия, кембрия // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 2, с. 82–102.
6. Горошко М.В., Гурьянов В.А. Мезо-неопротерозойские комплексы чехла юго-востока Сибирской платформы: условия образования и основные черты тектоники // Геотектоника. 2008. № 2. С. 80–96.
7. Горошко М. В., Гильманова Г.З. Литолого-структурные условия локализации рудных месторождений Учуро-Майской мезо-неопротерозойской впадины (Сибирская платформа) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 4. С. 52–67.
8. Гриненко В.С., Мишнин В.М., Истомина И.Н. Новые представления о перспективах нефтегазоносности шарьяжно-надвиговых структур Алданского Приверхоянья // Вестн. Роскомгеологии РС(Я). 2003. № 1. С. 35–43.

9. Гриненко В.С., Князев В.Г. Нижняя-средняя юра Якутского погребенного сводового поднятия, Тукуланского выступа и Лунгхинско-Келинской впадины: расчленение разрезов и их корреляция // Отеч. геология. 2017. № 1. С. 75–84.
10. Гурьянов В.А., Песков А.Ю. Улканская палеорифтовая структура: особенности развития, геодинамическая обстановка (Юго-Восточное обрамление Сибирской платформы) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 62. С. 57–63.
11. Давыдов Ю.В., Колосов П.Н., Авдеева В.И., Файзулина З.Х. Стратиграфический разрез верхнего докембрия Мокуйской скважины (юго-восточная Якутия) // Бюлл. науч.-техн. информации. Якутск: АН СССР, Сиб. отд-ние, Якут. филиал. 1982. С. 6–9.
12. Каламкарров Л.В. Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран: Учеб. для вузов. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. 2-е изд. испр. и доп. 576 с.
13. Карсаков Л.П., Гурьянов В.А., Горошко М.В. Стратиграфия нижних горизонтов гипостратотипа рифея (Юго-Восток Сибирской платформы) // Стратиграфия и геол. корреляция. 2002. Т. 10, № 1. С. 47–61.
14. Ларин А.М. Улкан-Джугджурская анортозит-рапакивигранит-щелочногранитная рудоносная магматическая ассоциация (Сибирский кратон): возраст, тектоническое положение, источники и металлогения // Геология руд. месторождений. 2014. Т. 56, № 4. С. 291–31.
15. Маргулис Л.С., Ковнир Б.Д., Сереженков С.В., Нафиков И.Ф. Строение юго-восточного перикратонного погружения Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10, № 1. www.ngtr.ru/rub/4/11_2015.pdf.
16. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б., Ефимов А.О., Карлова Г.А., Килина Л.И., Константинова Л.Н., Кочнев Б.Б., Краевский Б.Г., Мельников П.Н., Наговицин К.Е., Постников А.А., Рябкова Л.В., Терлеев А.А., Хабаров Е.М. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2005. 428 с.
17. Мигурский А.В., Соболев П.Н. Мутулинское поднятие – главный объект нефтегазопоисковых работ во фронтальной части Кыллахской зоны Верхоянского пояса складчато-надвиговых дислокаций // Нефтегазовая геология. 2015. № 2 (22). С. 26–33.
18. Нафиков И.Ф. Особенности геологического строения и нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8, № 3. www.ngtr.ru/rub/4/34_2013.pdf.
19. Нафиков И.Ф. Оценка углеводородного потенциала Алдано-Майской впадины на основе технологии бассейнового моделирования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 7. С. 33–40.
20. Павлов В.Э., Галле И., Петров П.Ю., Журавлев Д.З., Шаццло А.В. Уйская серия и позднерифейские силлы Учуро-Майского района: изотопные, палеомагнитные данные и проблема суперконтинента Родиния // Геотектоника. 2002. № 4. С. 26–41.
21. Семихатов М.А., Серебряков С.Н. Сибирский гипостратотип рифея. М.: Недра, 1983. 223 с. (тр. ГИН АН СССР. Вып. 367) 234 с.
22. Семихатов М. А., Кузнецов А. Б., Чумаков Н. М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27.
23. Сластенов Ю.Л., Гриненко В.С., Петров В.Б., Сапьяник В.В. Новые данные по стратиграфии морских юрских отложений Лено-Алданского мождуречья // Геология и геофизика. 1989. № 11. С. 1391983. 142.
24. Соболев П.Н., Шиганова О.В., Дыхан С.В., Ахмедова А.Р. Новые данные о перспективах нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 3–4. С. 643–656.
25. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571с.
26. Харахинов В.В. Древние рифты Восточной Сибири // Геология нефти и газа. 2016. № 4. С. 3–16.
27. Хоментовский В.В. Актуальные вопросы стратиграфии неопротерозоя в Сибирском гипостратотипе рифея // Геология и геофизика. 2005 Т. 46, № 5. С. 529–545.
28. Шеин В.С., Фортунатова Н.К., Ивашко С.В., Алференок А.В., Долматова И.В., Ларкин В.Н., Каламкарров С.А., Книппер А.А. Тектоническое районирование и перспективы нефтегазоносности бассейнов Сибирской платформы. (ВНИГНИ) / Геология нефти и газа. 2013. Спецвыпуск. С. 641983. 88.
29. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. 185 с.
30. Шишкин Б.Б., Берилко Г.А., Соболев П.Н., Старосельцев В.С., Страхов А.Н. Строение и перспективы нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Нефтегазовая геология. 2010. № 4. С. 26–40.
31. Шпунт Б.Р. Позднедокембрийский рифтогенез Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. -39 с.
32. Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Heaman L.M., Zanin A.M., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian basin of southeastern Siberia // Precambrian Research. 111. 2001. P. 129–163.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой
после доработки 23.04.2020 г.
принята к печати 23.07.2020 г.

E.P. Razvozhayeva

Seismostratigraphic model of the Aladan-Maya sedimentary basin, southeastern Siberian Platform

Generations of the materials of the seismic exploratory works conducted in the Aldan-Maya sedimentary basin substantiated the seismostratigraphic model and construction of the lateral and longitudinal sections allowed an understanding of the specific features of the sedimentary cover structure and specifying the basin boundaries. Based on the seismic sections and geologic map at a scale of 1: 2 500 000 a scheme of structures formed in the Riphean was developed. These constructions made it possible the purposeful plan of the oil-and-gas searching and exploratory works, estimation of thickness and area of the parent material. The investigations made can be applied for clarification of the structure of the eastern Siberian Platform.

***Key words:* seismostratigraphic model, seismic section, seismic complex, structural scheme, Riphean-Vendian-Cambrian deposits, Aldan-Maya sedimentary basin, southeastern Siberian Platform.**