

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра палеонтологии и стратиграфии

С.О. ЗОРИНА

Учебно-методическое пособие

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЯ
(Материалы к лекциям. Практические задания)

Казань – 2016

УДК 551.7(075.8)

*Принято на заседании кафедры палеонтологии и стратиграфии
Протокол № 4 от 16 февраля 2016 г.*

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий кафедрой палеонтологии и стратиграфии **В.В. Силантьев**
кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» **Н.И. Афанасьева**

Зорина С.О.

Секвенс-стратиграфия. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. – Казань, 2016. – 65 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для лекционных и практических занятий с магистрантами Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, обучающимися по направлению подготовки «Геология», профилю – «Стратиграфия». В учебном пособии рассматриваются основные положения секвенс-стратиграфии, характеризуются модели строения секвенций и их соотношение с фациями. В первой части пособия кратко изложен лекционный и вспомогательный материал, необходимый магистрантам для успешного освоения материала по курсу. Во второй части приведены задания по практической части курса. Основные разделы пособия составлены с привлечением опубликованных теоретических разработок по секвенс-стратиграфии, практических примеров интерпретации геологических данных с применением секвенс-стратиграфического подхода и тектоно-эвстатического анализа. Приведены темы рефератов и контрольные вопросы для подготовки к зачету.

© Зорина С.О., 2016

© Казанский университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Часть 1. Материалы к лекциям..... | 4 |
| Введение..... | 4 |
| История секвенс-стратиграфических исследований | 5 |
| Направления развития секвенс-стратиграфии | 9 |
| Секвенс-стратиграфические исследования в России | 14 |
| Понятийная база секвенс-стратиграфии..... | 19 |
| Секвенс-стратиграфия платформенных бассейнов..... | 25 |
| Тектоно-эвстатический анализ среднеюрских-нижнемеловых от- ложений востока Русской плиты..... | 27 |
| Влияние эвстазии, вертикальной тектоники и осадконакопления на формирование различных типов осадочных последовательностей. Методы оценки углубления – обмеления, трансгрессии – регрес- сии..... | 30 |
| Оценка углубления-обмеления, трансгрессивно-регрессивной и проградационно-ретроградационной цикличности (на примере среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты) | 34 |
| О значении тектоно-эвстатического анализа..... | 41 |
| Библиографический список..... | 42 |
| Часть 2. Практические задания..... | 53 |
| Вопросы контрольной работы..... | 62 |
| Вопросы к зачету..... | 62 |

ЧАСТЬ 1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ

ВВЕДЕНИЕ

Секвенс-стратиграфия (от англ. «Sequence Stratigraphy») – это геологическая дисциплина, занимающаяся выделением и прослеживанием секвенсов, изучением закономерностей их литологического и фациального состава, анализом архитектуры секвенционных комплексов, хроностратиграфической корреляцией секвенций различных порядков и, в конечном итоге, пространственно-временной эволюцией осадочного бассейна. Исходным положением секвенс-стратиграфии является генетическая связь секвенций с тремя одновременно воздействующими геологическими факторами: колебаниями уровня моря, вертикальными тектоническими движениями и привносом осадочного материала.

Введение в мировую геологическую практику секвенс-стратиграфического метода полностью обновило геологическое мышление и методы стратиграфического анализа. С широким привлечением традиционных био-, лито-, хемо-, магнито-, сейсмо-стратиграфических методов новый подход позволяет реконструировать временную последовательность процессов осадконакопления, а также прогнозировать фациальный состав отложений на неисследованных территориях.

Достижения в области секвенс-стратиграфии и седиментационного моделирования последних 20–30 лет позволили объяснить природу и механизмы формирования морских осадочных комплексов, увязав их с колебаниями уровня моря, вертикальными тектоническими движениями (аккомодационным пространством) и объемом поступающего осадка.

Концепция секвенс-стратиграфии подвела базис под расшифровку эвстатических сигналов в морских осадочных разрезах (скважинах и обнажениях) по всему миру. Распознавание эвстатических событий и построение их последовательности позволило создать глобальные циклостратиграфические шкалы мезо-

зоя и кайнозоя, которые являются хроникой колебаний уровня моря (Наq, 2014; Наq, Al-Qahtani, 2005; Наq et al., 1987).

Секвенс-стратиграфия широко применяется в научных и прикладных геологических исследованиях как современный комплексный метод бассейнового анализа, позволяющий значительно улучшить понимание условий накопления и сохранения осадочных отложений в бассейнах осадконакопления, что позволяет значительно усовершенствовать региональный и локальный прогноз углеводородного и минерального сырья.

Секвенс-стратиграфический метод наиболее эффективен при детальных стратиграфических, литолого-фациальных и палеогеографических исследований в пределах стабильных (пассивных) шельфов и некомпенсированных впадин платформ. В нефтяной геологии он активно используется при прогнозе распространения и качества продуктивных толщ, а также при поисках литологически экранированных углеводородных залежей. Значительный экономический эффект от применения метода достигается на стадии разработки месторождений, когда особое значение приобретают знания о седиментационной структуре нефтесодержащих резервуаров.

ИСТОРИЯ СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Секвенс-стратиграфия как научное направление появилась в 70-е годы XX века на базе интенсивно развивавшейся сейсмической стратиграфии.

В 1977 г. Петером Вейлом с коллегами из исследовательской группы компании Еххон (США) была опубликована новая технология интерпретации сейсмических профилей, согласно которой предполагалось соответствие отражающих горизонтов, выявленных на акустических профилях, изохронным границам несогласий или поверхностям напластования (Vail et al., 1977). Было установлено, что такие несогласия легко распознаются в морских сейсмических разрезах, и, как ранее предполагалось (Curry, 1964; Grabau, 1913; Barrell, 1917; Sloss et al., 1949; Wheeler, 1964; Wheeler, Murray, 1957), являются последствиями эвстатических колебаний (Рис. 1)

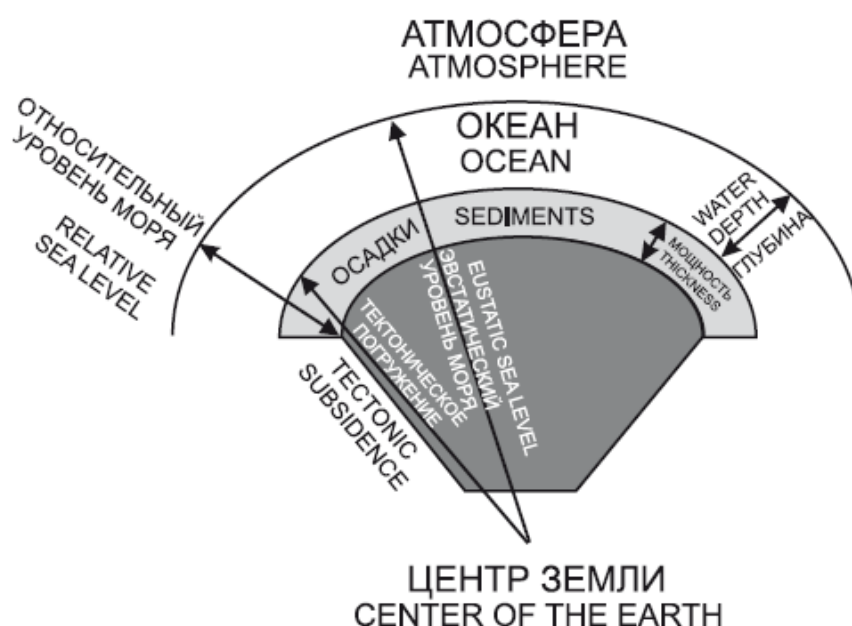


Рис. 1. Эвстатический и относительный уровень моря (www.uga.edu)

Термин «секвенс» («секвенция», «секвент», «сиквенс», от англ. – «sequence») был предложен Лоуренсом Слоссом с соавторами (Sloss et al., 1949) для обозначения стратона, ограниченного поверхностями несогласий. Опреде-

ление секвенции впоследствии уточнялось Р.М. Митчумом (Mitchum, 1977) и Я. Харденболом с коллегами (Hardenbol et al., 1998), в результате чего секвенция была охарактеризована как относительно согласная последовательность генетически связанных слоев, ограниченных поверхностями несогласий или скоррелированных с ними согласными поверхностями.

Л.Л. Слоссом подчеркивалась важность секвенс-стратиграфического подхода не только при анализе сейсмических материалов, но и при расчленении и корреляции частных геологических разрезов. Практическое воплощение эти выводы нашли в секвентировании палеозойского разреза внутреннего кратона Северной Америки, где Л.Л. Слоссом было выделено 6 секвенций (Sloss, 1963).

Базируясь на разнообразных и многочисленных источниках первичной геологической информации, секвенс-стратиграфия заполняет пробелы, существующие между седиментологией, фаціальным анализом и стратиграфией (рис. 2).



Рис. 2. Секвенс-стратиграфия в контексте междисциплинарных исследований (по Catuneanu, 2002).

Сейсмическая стратиграфия дала толчок развитию секвенс-стратиграфии как самостоятельной научной дисциплины при достаточно быстром подтверждении ее основных положений огромным количеством фактических данных, полученных при бурении и изучении обнажений в различных регионах мира (Габдуллин и др., 2008).

Секвенс-стратиграфический метод анализа сейсмических данных оказался практически столь же революционным, что и предложенная в 60-е годы XX века теория тектоники плит (Miall, 1995). В работе П.Р. Вейла и его коллег (Vail et al., 1977), помимо концепции сейсмической стратиграфии, была опубликована глобальная циклостратиграфическая шкала, основанная на положении о признании эвстазии главной движущей силой при формировании стратиграфической цикличности всех уровней.

По мнению одного из классиков секвенс-стратиграфии Октавиана Катуняну (Catuneanu, 2002), стратиграфические построения, выполненные с учетом глобальной циклостратиграфической шкалы, позволяют составить более реальное представление о временном геологическом разрезе, чем при составлении такого разреза с использованием традиционных хроностратиграфических датировок.

С постулатом о доминировании эвстазии в процессах осадконакопления до сих пор категорически несогласны сторонники тектонических механизмов осадкообразования (Bally, 1982; Miall, 1992; Miall, Miall, 2001; Hubbard, 1988; Sloss, 1972; Trome, Watts, 1984). Последние считают, что построение количественной эвстатической кривой на основе анализа строения осадочных разрезов пассивных континентальных окраин (например, Нью-Джерси) в принципе неверно, т.к. при оценке амплитуды эвстазии не учтено большое количество факторов (Conrad, 2013):

– горячий мантийный апвеллинг, вызывающий рост океанских островов и подъем поверхности морского дна;

– конвекция мантийных гидратов, регулирующая скорость спрединга с усилением/ослаблением дегазации мантии;

– увеличение площади материков в зонах субдукции, связанное с усиленным привнесом континентального обломочного материала;

– рост объема полярных льдов в периоды похолоданий может способствовать как падению уровня моря за счет концентрации воды в замерзшем состоянии, так и его росту за счет того, что изостатическое прогибание плиты под тяжестью льдов вызывает воздымание противоположной ее окраины, что приводит к росту уровня моря на данном участке плиты.

Последователи гипотезы об эвстатической природе седиментационных циклов (Наг, 2014) утверждают, что разногласия во многом связаны с тем, что геофизическое сообщество не учитывает разработанные для многих регионов мира разнообразные хроностратиграфические схемы осадочных разрезов, позволяющие расшифровывать эвстатическую природу циклов. Таким образом, эвстатическая природа глобальных циклов подтверждается реальной геологической фактурой, что, несомненно, является преимуществом перед гипотетическими предположениями противников эвстатической природы циклов, которые требуют документального подтверждения.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИИ

Реализация концепции секвенс-стратиграфии происходит в двух взаимосвязанных направлениях (Зорина, Жабин, 2010) (рис. 3).



Рис. 3. Направление секвенс-стратиграфических исследований с краткой характеристикой основных результатов

Первое – региональное тектоно-эвстатическое (практическое) направление – включает детальный секвенс-стратиграфический анализ сейсмических разрезов, естественных обнажений, разрезов скважин, сводных раз-

резов, составленных по отдельным территориям, структурно-геологическим зонам, осадочным бассейнам, с выделением секвенций разных порядков, системных трактов и стратиграфических поверхностей, регистрацией эвстатических сигналов в осадочных бассейнах, построением кривых относительного изменения уровня моря и фациальных моделей, характеризующих разные варианты баланса между эвстазией, тектоникой и привносом осадочного материала.

Важнейшей задачей данного направления исследований является локализация залежей углеводородов и минеральных ресурсов. Оно получило самое широкое распространение в среде стратиграфов и седиментологов по всему миру.

Сложившиеся за многолетний период геологического изучения представления об условиях формирования и эволюции древних и современных осадочных бассейнов были существенно скорректированы за счет массового выявления эвстатических сигналов в осадочных разрезах. Новое понимание строения и формирования отдельных месторождений и крупных осадочных бассейнов были визуализированы в секвенс-стратиграфических пространственно-временных 3D-моделях (Galloway, 1989; Galloway, Hobday, 1983; Kunin, Segalovich, 1996). Во многих случаях это явилось прорывом в объяснении генезиса седиментационных объектов и их групп.

Второе – **глобально-эвстатическое (фундаментальное) направление** – связано с проведением процедуры актуализации глобальной эвстатической кривой, хроностратиграфической калибровкой эвстатических событий и совершенствованием и унификацией понятийной базы.

Данное направление получило свое развитие в исследованиях Билала Хака с соавторами (Haq, 2014; Haq et al., 1987, 1988; Haq, Al-Qahtani, 2005), Энтона Хэллема (Hallam, 1981, 2001), Кеннета Миллера с соавторами (Miller et al., 2005) и ряда других исследователей, построения которых были основаны на разном фактическом материале и, что вполне естественно, приводили к разным результатам (Hallam, 1988; Haq, 1992).

Широкомасштабное применение глобальных эвстатических кривых и циклостратиграфических шкал в производственных и научных целях требовало перманентного увеличения хроностратиграфической точности выделенных циклов. Для решения данной задачи Б. Хаком с коллегами (Haq et al., 1987) был использован полученный к тому времени обширный материал по детальному стратиграфическому изучению мезозойских разрезов – потенциальных кандидатов в глобальные стратотипы ярусных границ. Кривые Б. Хака, опубликованные в 1987 году, получили признание и подтверждение по всему миру и были востребованы исследователями более 20 лет.

Построения Б. Хака с соавторами (Haq et al., 1987, 1988) были значительно дополнены при реализации крупного проекта по секвенс-стратиграфии Европейских бассейнов («Sequence Stratigraphy of European Basins Project»). Целью работ, стоящей перед группой исследователей под руководством Я. Харденбола (Hardenbol et al., 1998), было составление обобщенной временной последовательности секвенционных границ для мезозоя и кайнозоя. Результатом данного проекта явилось комплексирование и сопоставление био-, магнито-, хемо- и циклостратиграфических материалов, опубликованных к тому времени, и сведение их в единую секвенс-хроностратиграфическую схему (Gradstein et al., 1994; Berggren et al., 1995).

В начале XXI века значительный вклад в развитие секвенс-стратиграфии был сделан исследователями из компании Neflex Petroleum Consultants Ltd. В 2004 г. была опубликована статья Питера Шарланда с соавторами (Sharland et al., 2004), посвященная хроно-секвенс-стратиграфии Аравийской плиты, дополняющая и ревизирующая более раннюю работу этой же направленности (Sharland et al., 2001). Выделенные авторами в фанерозойских осадочных толщах Аравии поверхности максимумов трансгрессий и границы секвенций прослеживаются глобально и коррелируются на уровне биозон (Simmons et al., 2007).

В 2005 году Б. Хаком и А. Аль-Катани была опубликована циклостратиграфическая шкала Аравии, охватывающая временной интервал с кембрия по

неоген (Haq, Al-Qahtani, 2005). В данной работе приведены не только региональные кривые колебаний уровня моря и соответствующие им системные тракты, составляющие генерализованный разрез Аравии, но и вновь откалиброванная эвстатическая кривая. Авторами сделан важнейший вывод о сходстве и различии региональных и глобальных кривых в отдельные интервалы геологического времени. Сходство трендов кривых, установленное в кембрии, раннем силуре и средней юре, по мнению авторов, свидетельствует о доминировании эвстазии над тектонической активностью Аравийской платформы. Новая циклостратиграфическая шкала Аравии и эвстатическая кривая построены на самой современной (на то время) хроностратиграфической основе – Шкале геологического времени – 2004 (Gradstein et al., 2004).

Причины эвстазии большинством исследователей связываются с увеличением объема воды в Мировом океане, вызванным возрастанием активности плейттектоники и нижнемантийного апвеллинга (Милановский и др., 1992; Филатова, 1998; Fichter, Poché, 2001; Ross, 1995). Широко распространена и иная – гляциоэвстатическая концепция, предложенная и активно продвигаемая группой Кеннета Миллера. В ее основу положен тезис о значительно меньших объемах продуцирования океанической коры, чем предполагается в большинстве публикаций, а колебания глобального уровня моря связываются с периодическими изменениями объемов полярных льдов (Miller et al., 1987). Эвстатическая кривая, построенная на основе концепции гляциоэвстазии за последние 100 млн. лет, была опубликована в 2005 г. (Miller et al., 2005). В основу исследований положен в буровой и биостратиграфический материал, полученный на пассивной континентальной окраине Северной Америки в районе Нью-Джерси.

Количественные оценки глобального уровня моря, изложенные в публикациях Б. Хака и К. Миллера (Haq, Al-Qahtani, 2005; Miller et al., 2005), достаточно существенно различаются. Попытка выяснения причин этих разногласий была предпринята Дитмаром Мюллером с соавторами (Müller et al., 2008), которые свели в одну схему эвстатические кривые Б. Хака, К. Миллера и ряда

других авторов и дали собственную, отличную от всех, оценку изменения глобального уровня моря. Выводы Д. Мюллера основаны на идее о том, что пассивная окраина Нью-Джерси вовсе не была пассивной в последние 70 млн. лет, как это было принято в построениях Б. Хака и К. Миллера. Моделирование топографии океанического дна по временным срезам показали погружение пассивной окраины со средней скоростью 1,5–2,5 м/млн. лет, что означает занижение эвстатического уровня группой К. Миллера на величину 105–180 м. Группой Д. Мюллера сделан вывод о завышении глобального уровня моря Б. Хаком и А. Аль-Катани (Müller et al., 2008).

В эвстатической кривой Д. Мюллера, таким образом, были визуализированы флуктуации уровня моря, которые в абсолютном выражении оказались промежуточными между значениями, полученными Б. Хаком и А. Аль-Катани (Haq, Al-Qahtani, 2005) и К. Миллером с соавторами (Miller et al., 2005).

Эвстатическая кривая для палеозоя была актуализирована Б. Хаком и Р. Скуттером в 2008 году (Haq, Schutter, 2008). Опубликованные ранее секвенс- и сейсмостратиграфические данные по данному интервалу разреза (Vail et al., 1977; Van Wagoner et al., 1990; Haq et al., 1988) были существенно дополнены интервалами оледенений и литологическими особенностями разрезов.

Понятийная база секвенс-стратиграфии стандартизировалась перманентно с момента появления метода (Catuneanu, 2002). В публикациях О. Катуняну (Catuneanu, 2002, 2006) содержится подробный анализ изменения определяющих дефиниций у разных исследователей. В одной из последних публикаций (Catuneanu et al., 2009), подготовленной с участием ведущих разработчиков секвенс-стратиграфии, подводится итог имеющихся теоретических изысканий и демонстрируется единство подхода разных научных школ к секвенс-стратиграфическим исследованиям.

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИИ

В отечественной литературе основные положения секвенс-стратиграфии были изложены в ряде публикаций (Беляков и др., 1993; Волков, Шлезингер, 1992; Гладенков, Шлезингер, 1993; Ильин, 1991; Карогодин, 1996; Михайлов, Шлезингер, 1989; Найдин, 1989, 1995а, 1995б). Главными причинами очень малого объема секвенс-стратиграфических исследований в России, по мнению С.Л. Белякова с соавторами (Беляков и др., 1993), является слабая разрешающая способность сейсморазведки и ограниченное количество полигонов, где может быть применена стратиграфия седиментационных комплексов (т.е. секвенс-стратиграфия). К числу наиболее удобных полигонов данными авторами отнесены: верхнеюрско-неокомская толща Западно-Сибирской плиты, олигоцен-нижнемиоценовые отложения Скифской плиты и верхнедевонско-каменноугольные клиноформы Тимано-Печорского региона.

Успешная реализация вышеобозначенного регионального тектоно-эвстатического направления секвенс-стратиграфии была продемонстрирована Н.Я. Куниным и И.Е. Сегалович (Kunin, Segalovich, 1996) в публикации о результатах сейсмостратиграфического анализа северной части Западно-Сибирского бассейна. Процесс накопления нижнемеловых клиноформ Гыданской площади представлен в седиментологической и стратиграфической 3D-моделях.

Высшую степень своего развития данное направление получило в трудах Ю.Н. Карогодина – основоположника предложенного им нового научного направления – литмологии (Карогодин, 1980, 1990, 2006). Ю.Н. Карогодиным разработаны системно-литмологические модели нефтегазоносных комплексов Западной Сибири, положительный прогноз по которым подтвердился открытием многочисленных месторождений нефти и газоконденсата.

В рамках первого (практического) направления секвенс-стратиграфии проведен крупный комплекс исследований, посвященных фиксации эвстатических сигналов в юрской-неокомской продуктивной толще Западно-Сибирского

бассейна (Захаров и др., 1991, 1998; Шурыгин и др., 1999; Sahagian et al., 1995, 1997). Впервые построена трансгрессивно-регрессивная кривая на высокоразрешающей хроностратиграфической основе (Захаров и др., 1998), сопоставленная с глобальной эвстатической кривой Б. Хака (Haq et al., 1988) и количественной эвстатической кривой Д. Сахагяна и М. Джонса (Sahagian, Jones, 1993).

Чуть раньше американскими исследователями были реконструированы юрские и меловые эвстатические колебания уровня моря на Русской плите (Sahagian, Jones, 1993; Sahagian, Holland, 1991). Как указывают А.С. Алексеев и А.Г. Олферьев (2007), построения Д. Сахагяна с коллегами основывались на опубликованном в 70-х годах прошлого века геологическом материале по Московской синеклизе. Результаты этих работ были охарактеризованы Д.П. Найдиным и Е.Ю. Барабошкиным (Найдин, Барабошкин, 1994), как необоснованные, в силу тектонической нестабильности Русской плиты в мезозое и отсутствия у авторов надежного биостратиграфического каркаса.

Практически одновременно Д.П. Найдиным был выполнен секвенс-стратиграфический анализ верхнемеловых отложений востока Европейской палеобиогеографической области (Найдин, 1995б). Им выделено 6 секвенций, разделенных перерывами, и указано на необходимость разбраковки типов перерывов по продолжительности и пространственному распространению, что позволит оценить их эвстатическую или эпейрогеническую природу.

В 1996 году исследовательской группой Д. Сахагяна в соавторстве с российскими коллегами (Sahagian et al., 1996) опубликована эвстатическая кривая, построенная для средней юры-мела Восточно-Европейской платформы. Реконструкция эвстатического режима была проведена на основе палеобатиметрического моделирования юрского и мелового морей для центральной части Русской плиты, разработанного В.А. Захаровым.

Подход Д. Сахагяна и его коллег к построению эвстатических кривых был положен в основу построения А.С. Алексеевым и А.Г. Олферьевым 20 количественных палеобатиметрических кривых, реконструированных по юрским

отложениям различных структурно-геологических зон Восточно-Европейской платформы (Алексеев, Олферьев, 2007). Авторами привлечено большое количество палеонтологически датированных разрезов, опубликованных в последние годы. Это дало возможность хроностратиграфически обосновать выделенные максимумы и минимумы на построенных палеобатиметрических кривых.

Построению эвстатических кривых для раннемеловой эпохи Русской плиты посвящены исследования Е.Ю. Барабошкина (2001); для альбского этапа – работы А.С. Алексеева с коллегами (1996), Е.Ю. Барабошкина и А.С. Никульшина (2006) и др. В основу данных эвстатических построений положены палеобатиметрические реконструкции, выполненные по микро- и макрофауне (соответственно).

Вклад тектонического фактора в природу осадочных циклов на Русской плите признано всеми исследователями, затрагивающими в своих публикациях вопросы эвстатических колебаний в палеозое – мезозое (Найдин, 1995б; Найдин, Барабошкин, 1994), но задача визуализации этого вклада до сих пор не была решена. А.Е. Шлезингером с соавторами подчеркнута важность выработки объективных приемов установления относительного изменения уровня моря с разделением эвстатической и тектонической составляющей (Шлезингер и др., 2006).

Для решения данной задачи были разработаны генерализованные временные модели (литолого-батиметрические, тектоно-эвстатические и эвстатические), иллюстрирующие возможные варианты литологического строения разрезов в зависимости от интенсивности и направления вертикальных тектонических движений (Зорина, 2007).

Апробация моделей проведена на примере сводных хроностратиграфических разрезов средне-верхнеюрских и нижнемеловых отложений востока Русской плиты (Зорина, 2008, 2009). Показано, что при наложении эвстатической кривой (Naq, Al-Qahtani, 2005) на хроностратиграфическую последовательность осадочных толщ отчетливо проявляется доминирование либо эвстазии, либо вертикальных тектонических движений на различных участках платформы. По-

строены региональные тектонические кривые и кривые относительного изменения уровня моря. Тектоническая кривая иллюстрирует вклад вертикальных тектонических движений в совместный тектоно-эвстатический результат, представленный в кривой относительного изменения уровня моря. Последняя построена на основе анализа изменения пространственно-временного распространения фаций. Итогом проведенного исследования явилось секвенс-стратиграфическое расчленение рассматриваемых отложений с выделением системных трактов.

Исследованиями последних лет по оценке эвстатического и тектонического вклада в относительные колебания уровня моря в средней юре-палеоцене на Русской плите доказана невозможность построения единой верифицированной эвстатической кривой для всей платформы по фактическим данным одного региона и уж тем более одного разреза.

В последнее время выполнен комплекс секвенс-стратиграфических исследований хроностратиграфически расчлененных мезозойских разрезов северо-востока Ульяновско-Саратовского прогиба на основе палеобатиметрических реконструкций по литологическим и микрофаунистическим данным, с выделением поверхностей максимумов трансгрессий и системных трактов (Зорина, Старцева, 2010).

В 2014 году были опубликованы результаты исследований по реконструкции механизмов формирования юрско-меловых осадочных последовательностей востока Русской плиты (Зорина, 2014б). В основу положена генерализованная схема совместного воздействия разнонаправленных и разноамплитудных геологических процессов (Зорина, 2014а), важнейшими из которых признаны глобальная эвстазия, «тектонический шум» и седиментационный градиент (Catuneanu 2002; Catuneanu et al., 1998; Einsele, 2000; Neal, Abreu, 2009; Vail et al., 1991; Van Wagoner et al., 1990) (рис. 4).



Рис. 4. Генерализованная схема, иллюстрирующая влияние эвстазии, вертикальной тектоники и осадконакопления на формирование различных типов осадочных последовательностей (по Catuneanu et al., 1998 с изменениями и дополнениями; Зорина, 2014а)

Согласно данной схеме, принято, что при избытке аккомодационного пространства (A) и/или недостатке осадочного материала (S) и выполнении условия: $\delta A / \delta S > 1$, формируются ретроградационные последовательности. При недостатке аккомодационного пространства и/или избытке осадочного материала

и при выполнении условия: $\delta A/\delta S < 1$, сформируются проградационные (до деградационных) последовательности (Catuneanu et al., 1998; Neal, Abreu, 2009; Зорина, 2014а, б).

Проведенное моделирование механизмов формирования осадочных последовательностей в платформенных бассейнах позволило расширить спектр возможных вариантов и результатов взаимодействия глобальной эвстазии, «тектонического шума» и седиментационного градиента (Зорина, 2014а). Установлено, что трансгрессивные последовательности могут накапливаться не только при углублениях бассейна и наступлении моря на сушу, но и при регрессии с углублением, а также при трансгрессивном обмелении; проградационные пакеты могут формироваться при регрессивном углублении и в условиях мелеющей трансгрессии.

В настоящее время секвенс-стратиграфическим анализом охвачены практически все древние осадочные бассейны мира, что приносит ощутимую финансово-экономическую выгоду. Нельзя не учитывать, что данный метод, наряду с традиционными (био-, лито-, магнито-, хемотратиграфическими и др.) и прецизионными, включен Международной Комиссией по стратиграфии в комплекс обязательных исследований при выборе стратотипов ярусных границ.

ПОНЯТИЙНАЯ БАЗА СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИИ

Современная концепция, методика и терминология секвенс-стратиграфии разработана американскими геологами-нефтяниками (Дж. Ван Вагонером, Г. Позаментьером, Р. Митчемом, П. Вейлом и др.). В настоящее время установленные флуктуации морского уровня, начиная с начала мезозоя, получили магнито- и хроностратиграфическую привязки, а также радиометрическую датировку по пепловым горизонтам, развитым преимущественно в разрезах Внутреннего бассейна США. Секвенс-стратиграфический метод основан на признании эвстазии главной движущей силой при формировании осадочных толщ.

По Стратиграфическому кодексу (2006) стратиграфические подразделения, применяемые в секвенс-стратиграфии, относятся к группе специальных подразделений.

Наиболее часто принимается следующий порядок терминов (по нисходящей): **мегасеквенс**, **суперсеквенс**, **секвенс** и **парасеквенс**. Как правило, группировки секвенсов (мега-, супер-) образуют крупные подразделения, разделенные несогласиями регионального значения.

Секвенс (sequence) – основная единица, которая представляет собой более или менее согласную последовательность генетически связанных слоев, образованную за один цикл колебаний уровня моря. Друг от друга секвенсы, как правило, отделяются несогласиями.

Это региональные подразделения, распространенные обычно в пределах всего бассейна седиментации. Они отчетливо выделяются в краевых (мелководных) частях бассейнов и часто плохо различимы в глубоководных разрезах.

Секвенс образуется в результате заполнения осадками дна бассейна за один цикл колебания относительного (в пределах данного бассейна) уровня моря. Основным механизмом формирования секвенсов, таким образом, являются изменения относительного уровня моря, представляющие собой результат совместного взаимодействия трех факторов: эвстазии, вертикальных тектони-

ческих движений и количества поступающего материала. Роль каждого из этих факторов в конкретном районе может быть различной.

Каждый секвенс рассматривается в стратиграфии как комплекс отложений, образовавшийся в течение одного эвстатического цикла, начинающегося и заканчивающегося падением уровня моря.

Для фанерозоя выделяют **циклы эвстатических колебаний** пяти порядков продолжительностью от сотен миллионов до десятков тысяч лет (рис. 5).

П.Вейл с соавторами (1991) предложили иерархию секвенсов, включающую циклы 6 порядков, ранжированные по длительности формирования:

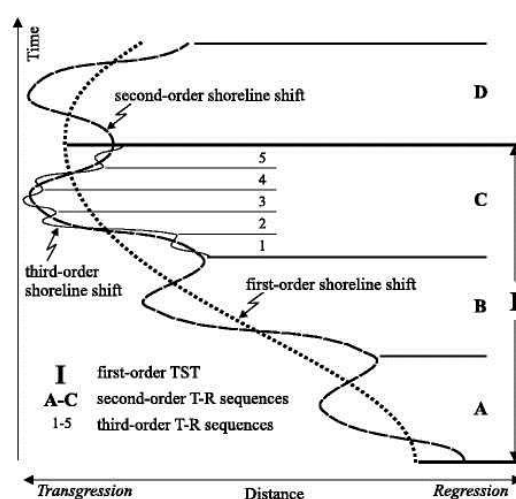
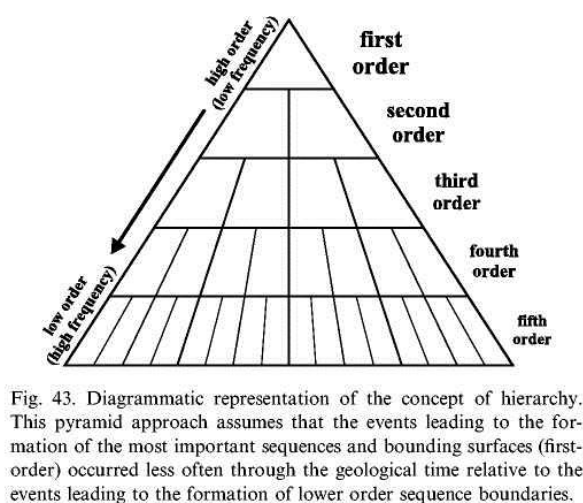


Рис. 5. Иллюстрации из статьи О.Катуняну (Catuneanu, 2002) о взаимоотношении разноранговых циклов.

1 порядок – >50 МА

2 порядок – 3–50 МА – мегасеквенс

3 порядок – 0.5–3 МА – суперсеквенс

4 порядок – 0.08–0.5 МА – секвенс

5 порядок – 0.03–0.08 МА – парасеквенс

Выделение и работа с суперсеквенсами облегчается тем, что они выделяются региональными несогласиями.

Парасеквенс (parasequence) – последовательность слоев, гранулометрический состав которых закономерно увеличивается снизу вверх по разрезу и по направлению от открытого моря к береговой линии. Подошва (и кровля) парасеквенса формируется за счет резкого изменения уровня моря.

Синонимы парасеквенса: мелеющая снизу вверх последовательность слоев, регрессивный циклит.

Пакет парасеквенсов (parasequence set) – ряд парасеквенсов, сформированных на определенной части цикла колебания уровня моря.

Выделяют три типа таких пакетов: **проградационный** или регрессивный если размер обломочных зерен, составляющих осадок, возрастает снизу вверх по разрезу; **ретроградационный** или трансгрессивный (рис. 6), если размер обломочных зерен уменьшается снизу вверх по разрезу, и **аградационный** с относительно стабильной размерностью зерен.

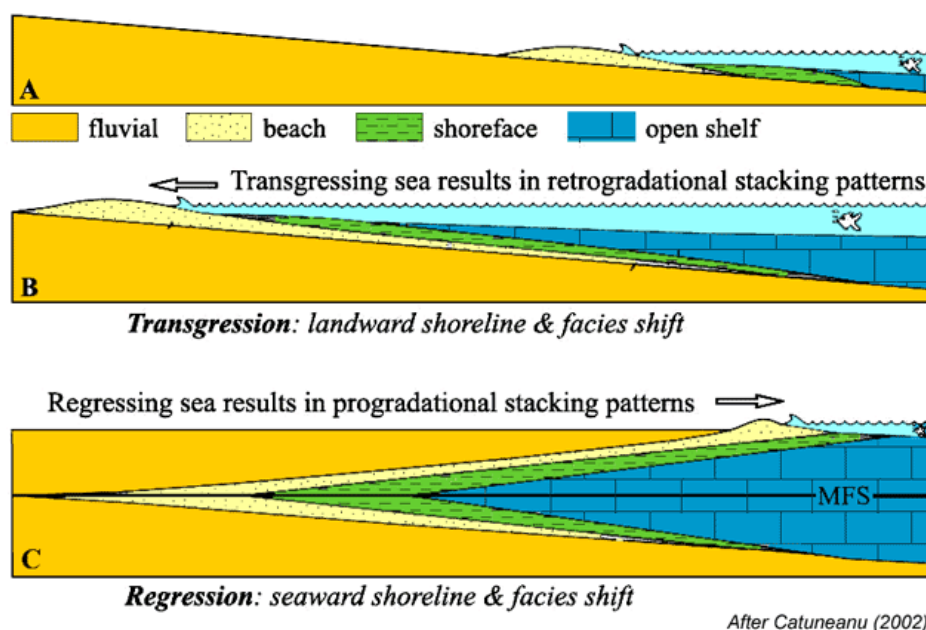


Рис. 6. Ретроградационные и проградационные последовательности, формирующиеся при трансгрессиях и регрессиях (Catuneanu, 2002)

Секвенсы состоят из трех **системных трактов** (systems tract). Тракты представляют собой латеральные фациальные ряды (осадочные системы), образовавшиеся в различных условиях седиментации, контролируемой положением уровня моря (рис. 7).

Тракт низкого уровня моря (lowstand systems tract – LST) связан с потоками подводных каньонов, активно действующими только при снижении уровня моря ниже бровки шельфа. Он сложен в основном турбидитами и подстилающими их подводными конусами выноса. Это так называемый седиментационный клин (lowstand wedge) отступающего моря (или наступающей суши), а иначе говоря – проградационный клин.



Рис. 7. Системные тракты, контролируемые положением уровня моря

Трансгрессивный системный тракт (transgressive systems tract – TST) образуется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа. Полоса представлена «наступающим на сушу» пакетом парасеквенсов, характеризующим трансгрессию на осушенный шельф и приморскую низменность.

В зашельфовой области вследствие дефицита осадков образуется глинистый конденсированный разрез (condensed-section deposits).

Тракт высокого уровня моря (highstand systems tract – HST) начинается обычно аградационным пакетом парасеквенсов, которые по мере снижения темпов подъема уровня моря сменяются серией клиноформ «наступающей суши». Этот седиментационный клин высокого стояния уровня моря (highstand wedge) в глубоководной части бассейна превращается в тончайший глинистый покров, наращивающий конденсированный разрез трансгрессивного тракта.

Кровля трансгрессивного системного тракта представляет собой поверхность максимального затопления территории (maximum flooding surface). Осадки максимального затопления шельфа, приморской низменности и отвечающий

им глубоководный конденсированный покров служат маркирующими горизонтами при сопоставлении разрезов.

Выделяются **два типа секвенсов** и соответственно два типа их границ. **Секвенс первого типа** содержит (снизу вверх): полосу осадков низкого уровня моря, трансгрессивную полосу осадков и полосу осадков высокого уровня моря (рис. 8).

Нижняя граница секвенса четкая, что обусловлено значительным снижением уровня моря, приводящего часто к субаэральному размыву шельфа и сдвигу седиментации в зашельфовую (глубоководную) часть бассейна.

Секвенс второго типа формируется при медленном подъеме уровня моря и его стабилизации. Резкого отступления моря, осушения шельфа и перемещения седиментации в зашельфовую часть бассейна в этом случае не наблюдается. В связи с этим в секвенсе второго типа отсутствует типичный тракт низкого стояния уровня моря. Вместо него при наиболее низком положении уровня моря формируется седиментационная полоса окраины шельфа (окраинно-шельфовый тракт; shelf-margin systems tract), представленная пакетом проградационных и аградационных парасеквенсов. Он мало отличается от нижележащего верхнего тракта подстилающего секвенса, и граница между ними не всегда отчетлива.

Форма секвенсов разнообразна: от плоскопараллельных и линзовидных тел до сравнительно крутонаклонных линзовидных тел, **клиноформ**.

Клиноформы — термин свободного пользования для клиновидных седиментационных тел с отчетливыми первичными наклонами слоев; они формируются в склоновой части секвенса и сложены терригенными породами. Различаются клиноформы трактов низкого и высокого стояния уровня моря.

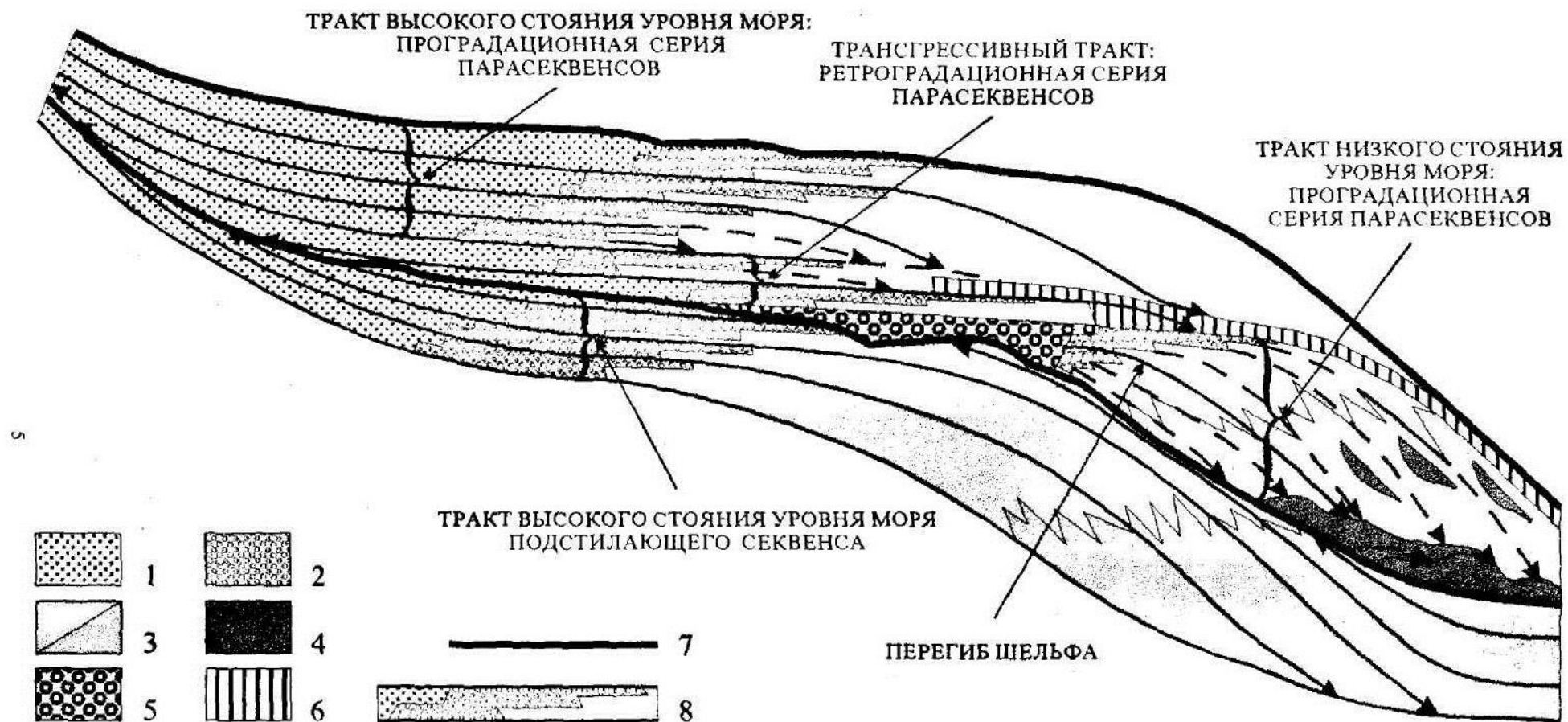


Рис. 8 Седиментационная модель секвенса первого типа (по Van Wagoner et al., 1990).

1 — песчаники и аргиллиты береговой равнины, 2 — мелководные морские песчаники, 3 — шельфовые и склоновые аргиллиты и песчаники, 4 — песчаники подводного конуса выноса, 5 — флювиальные песчаники врезанных долин, 6 — конденсированные отложения, 7 — граница секвенса первого типа, 8 — парасеквенс.

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ БАССЕЙНОВ

Теоретическая база секвенс-стратиграфии была разработана на основе анализа сейсмостратиграфических, буровых, каротажных и других геолого-геофизических данных, полученных при исследовании пассивных окраин платформ. Выявленные секвенционные тела, имеют строение, специфичное для бассейна с обширным шельфом и выраженным материковым склоном. Разработчики секвенс-стратиграфии предполагали, что на пассивных окраинах влияние вертикальных тектонических движений минимизировано.

В платформенных (внутренних, эпиконтинентальных) бассейнах эвстатические колебания также оказывают свое влияние на осадочный процесс, но формирующиеся седиментационные тела отличаются от классических секвенций.

Как известно, эпиконтинентальные бассейны – это внутренние, преимущественно мелководные платформенные моря, связанные с океанами проливами и периодически утрачивающие эту связь. В отличие от пассивных окраин, эпиконтинентальные бассейны характеризуются сложной (разнонаправленной и разноамплитудной) вертикальной тектоникой, которая либо препятствует, либо усиливает влияние эвстатических колебаний.

Разновидностью секвенс-стратиграфического анализа, применяемой в эпиконтинентальных бассейнах, является **тектоно-эвстатический анализ** (Зорина, 2012а).

Ярким примером эпиконтинентального бассейна является юрско-палеогеновое море Русской плиты. По терминологии Н.М. Страхова (1980), это было плоскодонное шельфовое море проливного характера, с неровным рельефом дна и обилием островов (Сазонова, Сазонов, 1967). Глубина бассейна соответствовала преимущественно области мелководного шельфа (Атлас литолого-палеогеографических..., 1967, 1969). В нем отсутствовал такой важнейший элемент строения бассейнов седиментации как материковый склон, способствующий формированию секвенционных тел при колебаниях

уровня моря. В рассматриваемом эпиконтинентальном бассейне флуктуации глубины бассейна приводили к миграции береговой линии на значительные расстояния и накоплению протяженных (сотни километров) агградационных слоевых ассоциаций, или платформенных секвенций.

Наложение вертикальных тектонических движений на глобальные эвстатические флуктуации обусловило наличие в осадочном чехле Русской плиты многообразных разновозрастных антеклиз и синеклиз, а также инверсионных структур. Ярким примером последних является юрско-меловой Ульяновско-Саратовский прогиб, наложенный на пермские отложения Волго-Уральской антеклизы (Сазонова, Сазонов, 1967).

Итогом совместных тектоно-эвстатических колебаний в полузамкнутом внутреннем бассейне является изменение его глубины и размеров. Генерализация (упрощение) простых и сложных комбинаций разноранговых и разноамплитудных флуктуаций двух вышеупомянутых факторов продемонстрированы на примере литолого-батиметрических, тектоно-эвстатических и эвстатических моделей (Зорина, 2012).

В отличие от классических секвенционных моделей Г. Айнслея (Einsele, 2000), Д. Ван Вагонера (Van Wagoner et al., 1990), У. Галлоуея (Galloway, 1989) и О. Катуняну (Catuneanu, 2002), литолого-батиметрическое моделирование рассматривает тектонические и эвстатические процессы во временном аспекте. При этом отчетливо проявляются не только литолого-фациальные изменения, но и перерывы. Модели показывают, при каких тектоно-эвстатических условиях накапливаются осадки, отвечающие различным батиметрическим зонам.

Тектоно-эвстатический анализ среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты

Секвенс-стратиграфические исследования морских осадочных толщ платформенных областей до последнего времени сталкивались с проблемой

выделения так называемого «регионального шума» из совместного тектоно-эвстатического воздействия на формирование осадочных толщ. Для выделения тектонических колебаний необходимо прежде всего выделить тектоно-эвстатические циклиты, или платформенные секвенсы. При сопоставлении хроностратиграфически расчлененного разреза со шкалой геологического времени отчетливо проявляются крупные перерывы и интервалы непрерывного осадконакопления - секвенсы.

Хроностратиграфическое расчленение среднеюрских-нижнемеловых разрезов позволило выделить серии непрерывно накопившихся осадков – секвенции и разделяющие их крупные стратиграфических перерывы (рис. 8).

На востоке Русской плиты отчетливо выделяется 5 циклитов (Зорина, 2012б): байос-келловейский (бескарбонатные песчаные глины, пески), оксфорд-волжский (карбонатные глины и мергели, битуминозные глины, песчаники и конгломераты), валанжинский (песчаники, конгломераты, бескарбонатные глины), готерив–аптский (бескарбонатные глины, пески) и альбский (бескарбонатные песчаные глины, пески), разделенных региональными перерывами. Литологическое строение выделенных циклитов достаточно однообразно, в них выделены 2 комплекса фаций: 1 – песков, песчаников и фосфоритовых конгломератов и 2 – глин, глинистых карбонатов и сланцев. Первый комплекс является прибрежно-морским, второй – мелководно-шельфовым.

Выделенные литостратоны являются по своей природе и сущности мегасеквенсами, т.к. возрастной интервал их формирования варьирует от 5 до 20 млн. лет (Габдуллин и др., 2008).

Анализ изменения фациального облика осадков во времени и по латерали позволил оценить динамику изменения глубины бассейна и построить региональную кривую относительного изменения уровня моря, представляющую собой результат взаимодействия эвстазии и регионального «тектонического шума».

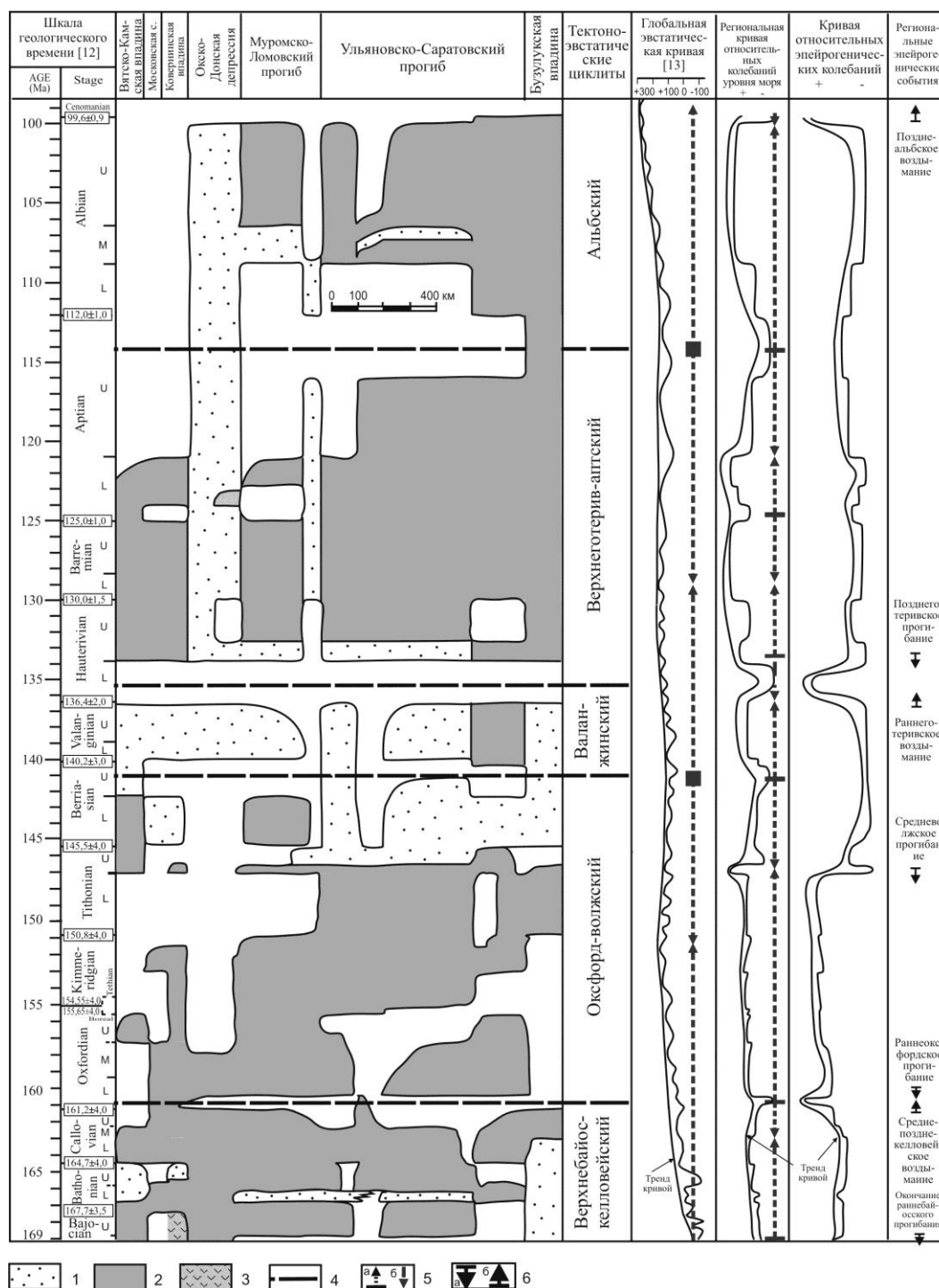


Рис. 9. Циклостратиграфическая схема среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты (Зорина, 2012б).

Условные обозначения: 1 – пески, песчаники, фосфоритовые плиты; 2 – глины; 3 – вулканогенно-осадочные отложений; 4 – границы мегасеквенций; 5 – эвстатические события: а – подъем уровня моря, б - падение; 6 – тетонические события: а – воздымания, б – прогибания; С. – синеклиза.

Разделение влияния этих двух факторов оказалось возможным путем наложения эвстатической кривой на построенную батиметрическую кривую. Интервалы, где проявляется сходство трендов кривых, отвечают преобладанию эвстазии; на этапах несовпадения в осадочном процессе доминирует «тектонический шум».

Динамика вертикальных тектонических движений воспроизведена в кривой, построенной на основе анализа пространственно-временного изменения фациального облика осадков, гетерохронности и синхронности hiatusов (рис. 9).

Влияние эвстазии, вертикальной тектоники и осадконакопления на формирование различных типов осадочных последовательностей. Методы оценки углубления – обмеления, трансгрессии – регрессии

Совместное воздействие эвстазии и «тектонического шума» способствует, с одной стороны, изменению регионального уровня моря, а, следовательно, – углублению или обмелению бассейна; с другой стороны – изменению пространственной конфигурации бассейна с расширением или сокращением его акватории при трансгрессии или регрессии (рис. 4).

Оценка углубления-обмеления проводится по результатам анализа фациального строения разреза. С наибольшей степенью достоверности данная процедура может быть проведена посредством обработки данных микрофаунистического анализа с применением эколого-батиметрического моделирования расселения бентосной микрофауны. Например, батиметрическая специализация юрских-нижнемеловых бентосных фораминифер РП позволяет оценить изменение палеоглубины накопления слоев, из которых они определены, и построить кривую изменения регионального уровня моря (Зорина, 2012б).

Динамика трансгрессивно-регрессивного режима определяется посредством анализа изменения площадного распространения отложений во време-

ни. Данный анализ проводится с применением атласов или карт, а также унифицированных схем, т.е. геологической фактуры, охватывающей некий регион или несколько регионов и определенный возрастной интервал. Примером ярко выраженного трансгрессивного залегания является средневожская промзинская толща, сложенная битуминозными сланцами, распространенная во всех структурно-геологических зонах ВРП, перекрывающая разновозрастные толщи верхней и даже средней юры. Пример регрессивного залегания – средне-верхневожские песчано-конгломератовые фосфоритсодержащие толщи, локально залегающие на горючих сланцах промзинской толщи средневожского подъяруса.

Оба фактора – региональный уровень моря и ТР-фактор – в совокупности характеризуют аккомодационное пространство, т.е. пространство, заполняемое осадками.

Вариации аккомодации и количества поступающего осадочного материала (фактор осадконакопления) в совокупности обуславливают строение формирующейся осадочной толщи, т.е. отвечают за ее архитектуру.

Согласно концепции секвенс-стратиграфии, различают следующие разновидности осадочных последовательностей, формирующихся при тектоно-эвстатических флуктуациях: проградационные (регрессивные – от тонких к грубым), ретроградационные (трансгрессивные – от грубых к тонким), агградационные (без выраженного ТР-вектора – от тонких к тонким, от грубых к грубым). Рассмотрим варианты взаимодействия аккомодации и осадконакопления, при которых формируются вышеназванные осадочные последовательности (Зорина, 2014а). Примечательно, что далеко не всегда ретроградационные последовательности формируются при трансгрессиях, а проградационные – при регрессиях (рис. 10).

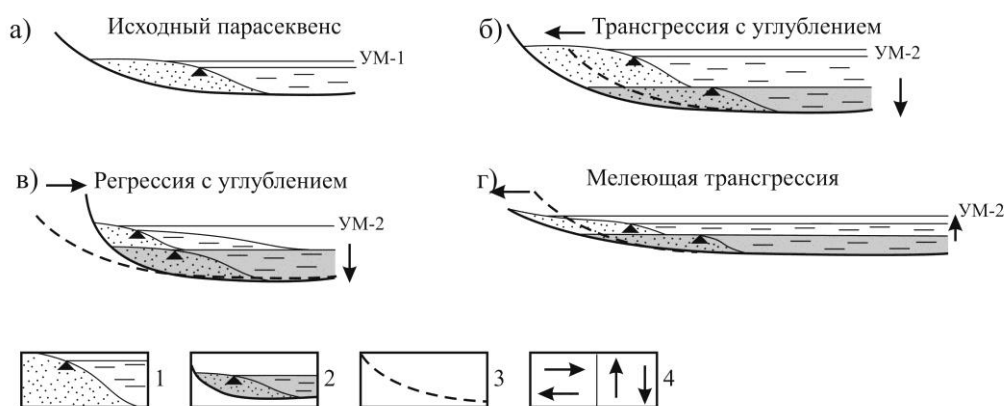


Рис. 10. Механизмы формирования осадочных последовательностей в условиях избытка аккомодационного пространства и/или недостатка осадочного материала (вариант 1).

Условные обозначения: 1 — фациальная граница прибрежно-морских песков и мелководно-шельфовых глин с проекцией на плоскость разреза линии пересечения их кровельных поверхностей; 2 — первоначально сформированный парасеквенс; 3 — первоначальное положение уровня дна седиментации; 4 — направления векторов: а — трансгрессии — регрессии, б - углубления — обмеления; УМ-1 — первоначальное положение уровня моря, УМ-2 — изменившееся положение уровня моря.

Вариант 1. Избыток аккомодационного пространства и/или недостаток осадочного материала, при выполнении условия: $\delta A / \delta S > 1$. В этом случае формируются ретроградационные (трансгрессивные последовательности). Если же отношение $\delta A / \delta S$ близко 1, то последовательность может быть агградационной.

1 а. Первая фаза осадконакопления, с зафиксированной точкой границы кровель прибрежных песков и мелководно-шельфовых глин (offset).

1 б. При трансгрессии с одновременным прогибанием дна бассейна, вызывающим углубление (классической трансгрессии), аккомодационное пространство увеличивается. Если осадочного материала поступит не меньше, чем в первую фазу осадконакопления, то сформируется отчетливая ретроградационная последовательность со смещением offset в сторону суши. Пример: верхнемеловые отложения, на отдельных участках РП перекрывающие палеозойские и даже протерозойские образования.

1 в. При регрессии с углублением теоретически аккомодационное пространство может увеличиться. При недостатке осадочного материала точка offset сместится в сторону суши и сформируется ретроградационная последовательность.

1 г. При трансгрессии с одновременным воздыманием дна, вызывающем обмеление (мелеющей трансгрессии), аккомодационное пространство теоретически может увеличиться (если растекание произойдет на весьма значительные территории). Недостаток осадочного материала приведет к смещению точки offset в сторону суши и образованию ретроградационной последовательности.

Вариант 2. Недостаток аккомодационного пространства и/или избыток осадочного материала, при выполнении условия: $\delta A / \delta S < 1$ (рис. 11). В этом случае формируются проградационные, до деградационных (регрессивные) последовательности. Если же отношение $\delta A / \delta S$ близко 1, то последовательность может быть агградационной.

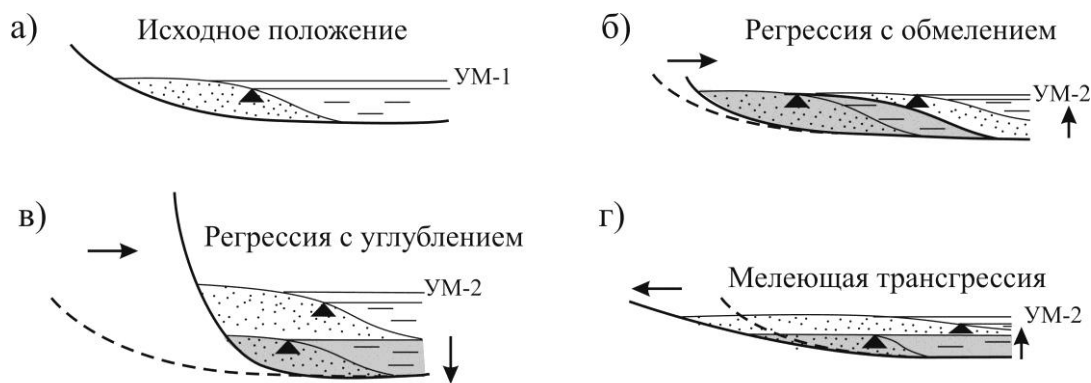


Рис. 11. Механизмы формирования проградационных (деградационных) осадочных последовательностей в условиях недостатка аккомодационного пространства и/или избытка осадочного материала (вариант 2).

2 а. Первая фаза осадконакопления, с зафиксированной точкой границы кровель прибрежных песков и мелководно-шельфовых глин (offset).

2 б. Регрессия с воздыманием поверхности дна, вызывающим обмеление (классическая регрессия). Аккомодационное пространство сильно сокращается, точка offset смещается в сторону бассейна. Формируется отчетливо выраженная проградационная последовательность. Если же offset смещается в сторону бассейна по кровле глин, формируется деградационная последовательность. Вторая фаза осадконакопления не будет участвовать в строении вертикального разреза, сместившись по латерали. Проводить правильное расчленение по керну и корреляцию разрезов при данном варианте крайне сложно. Для правильной стратиграфической интерпретации и бассейнового анализа необходимо привлечение данных сейсмопрофилирования и использование секвенс-стратиграфического подхода. Яркий пример таких деградационных последовательностей – неокомские клиноформы Западно-Сибирской плиты.

2 в. Регрессия с одновременным прогибанием дна бассейна, приводящим к его углублению, теоретически может вызвать уменьшение аккомодации. Увеличение количества поступающего осадочного материала будет способствовать засыпанию бассейна осадками со смещением точки offset в сторону бассейна. Сформируется проградационная последовательность.

2 г. Мелеющая трансгрессия может сопровождаться сокращением аккомодации и засыпанием бассейна поступающим в обилии осадочным материалом. Произойдет смещение точки offset в сторону бассейна с образованием проградационной последовательности.

Таким образом, опровергается традиционное мнение, что трансгрессивные последовательности образуются при углублениях бассейна и наступлении моря на сушу. На простейших примерах показано, что ретроградационные пакеты могут образоваться при регрессиях (с углублением), а также при обмелениях (но при трансгрессии).

Также не всегда справедливо утверждение об образовании регрессивных последовательностей при обмелениях и регрессиях. Проградационные

пакеты могут формироваться при регрессивном углублении и в условиях мелющей трансгрессии.

Учитывая обилие вариантов, при которых могут накапливаться проградационные и ретроградационные пакеты, т.е. с ярко выраженным вектором изменения зернистости осадков, образование агградационных пакетов может происходить практически при любых аккомодационно-седиментационных условиях, когда изменение этих двух факторов примерно сопоставимо.

Оценка углубления-обмеления, трансгрессивно-регрессивной и проградационно-ретроградационной цикличности (на примере среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты)

Хроностратиграфическое расчленение среднеюрских – нижнемеловых разрезов дало возможность рассмотреть осадочный бассейн как систему с цикличным чередованием периодов относительно непрерывного осадконакопления и длительных перерывов. Ключем для реконструкции тектоно-эвстатического режима явилось литолого-батиметрическое моделирование и построенные на его основе региональные кривые изменения уровня моря и кривые вертикальных тектонических движений.

В настоящем разделе рассматривается третий из факторов (помимо эвстазии и тектоники), влияющих на строение формирующейся осадочной толщи – поступление в бассейн седиментации осадочного материала – фактор седиментации.

Совместно с аккомодацией фактор седиментации формирует два типа осадочных последовательностей – ретроградационную (уменьшение зернистости вверх по разрезу) и проградационную (увеличение зернистости вверх по разрезу).

Аккомодационно-седиментационные особенности эволюции морского бассейна в средней юре-раннем мелу на востоке Русской плиты (Зорина, 2014б) рассмотрены на рисунках 12 и 13.

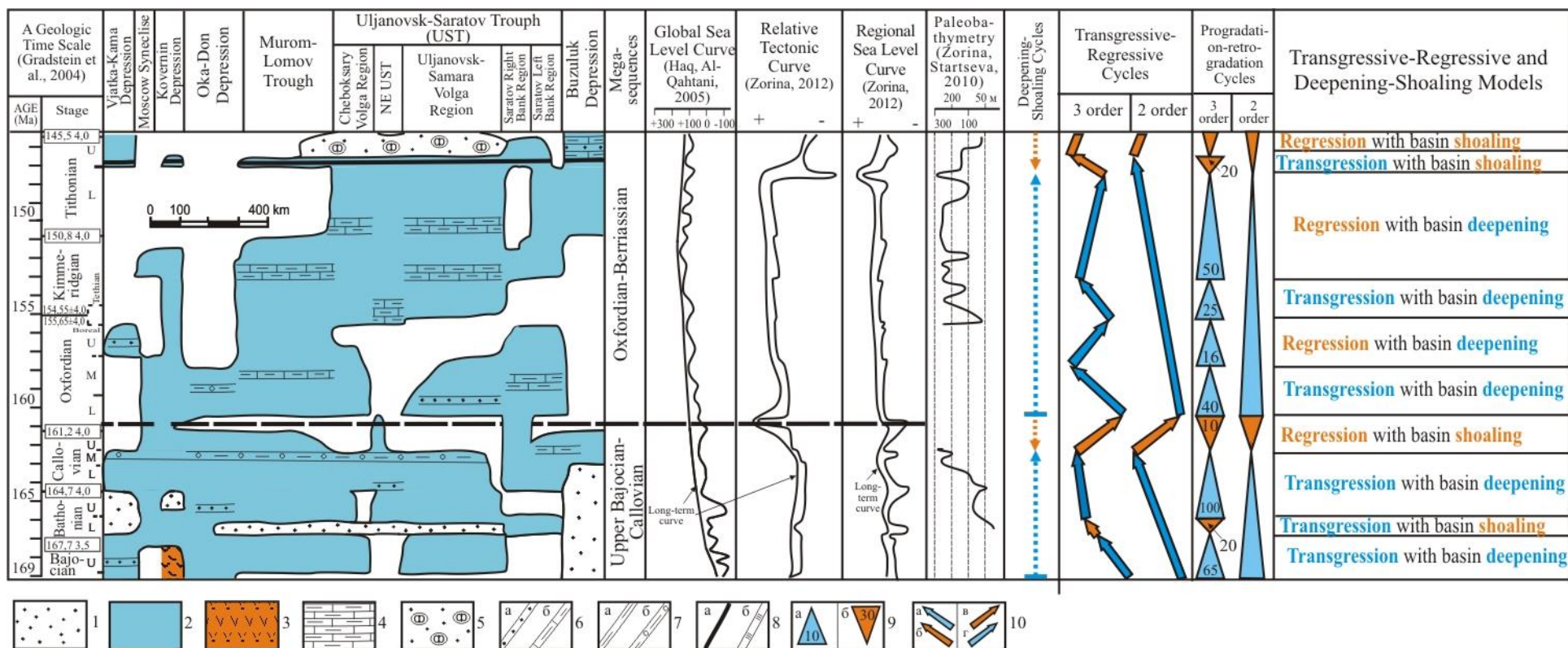


Рис. 12. Проградационно-ретроградационная и трансгрессивно-регрессивная цикличность юрских отложений востока Русской плиты (Зорина, 2014б)

Условные обозначения: 1 — пески, песчаники; 2 — глины; 3 — вулканогенно-осадочные отложения; 4 — мергели; 5 — пески, песчаники в желваках и гальках фосфоритов; 6а — прослой песков, алевроитов, 6б — прослой мергелей; 7а — прослой глин, 7б — прослой глин с железистыми оолитами; 8а — битуминозные глины и горючие сланцы, 8б — прослой опок; 9а — ретроградационная последовательность и ее мощность в метрах, 9б — проградационная последовательность и ее мощность в метрах; 10 — трансгрессивно-регрессивный режим: а — трансгрессия с обмелением, б — трансгрессия с углублением, в — регрессия с обмелением, г — регрессия с углублением

Этапы углубления и обмеления. Источником информации для выделения этапов углубления и обмеления рассматриваемого участка осадочного бассейна служит кривая регионального уровня моря (Зорина, 2014б). В средней и поздней юре доминировало общее углубление с накоплением преимущественного глинистых толщ. В раннем бате отмечено кратковременное обмеление, которое привело к накоплению полиминеральных песков и песчаных глин. В позднем келловее обмеление завершилось образованием регионального гиатуса. В конце раннего титона, после скачкообразного углубления, которым завершился общий тренд увеличения глубины бассейна, началось не менее резкое обмеление. Данное событие привело к накоплению литологически контрастных толщ: нижнетитонские глины перекрыты верхнетитонскими горючими сланцами, на которые, в свою очередь, налегают фосфоритсодержащие песчаники и конгломераты.

Начало раннего мела характеризуется продолжающейся фазой обмеления, которое в позднем берриасе привело к прекращению осадконакопления и/или практически полному размыву ранее накопившихся песчано-конгломератовых толщ.

Валанжинское углубление было незначительным и повлекло за собой накопление песчаников и конгломератов с фосфоритовыми гальками. В раннем готериве зафиксирован крупнейший региональный гиатус, на основании которого сделан вывод об обмелении бассейна и прекращении осадконакопления. Поздний готерив – ранний апт отмечен плавной фазой углубления со стабилизацией, поздний апт – устойчивым обмелением, завершившимся позднеаптским-раннеальбским региональным гиатусом. В альбе реконструирован общий тренд углубления.

Площадь распространения. Максимальная площадь распространения юрских и нижнемеловых отложений на ВРП составляет 300 тыс. км². Кривая изменения данного параметра во времени носит неравномерный, ступенчатый характер, изменяясь от 0 (ранний готерив) до максимальных значений (баррем). Количественные данные о площадном развитии рассматриваемых

отложений в совокупности с полученными численными значениями глубины их образования позволили оценить динамику изменения аккомодационного пространства во времени и в пространстве.

Трансгрессивно-регрессивная цикличность. Характер трансгрессивно-регрессивной цикличности во многом определяется динамикой площадного распространения среднеюрских-нижнемеловых осадочных толщ, особенностями перекрытия нижележащих толщ вышележащими. Поэтому циклы 3 порядка синхронизированы с площадной кривой.

Основное время накопления осадочного материала всех мегасеквенций, кроме альбской, приходится на фазу трансгрессии. Позднекелловейская, позднетитонско-берриасская, раннеготеривская регрессии отличаются кратковременностью и высокой интенсивностью, о чем свидетельствует практически полное отсутствие осадков на ВРП. При формировании альбской мегасеквенции длительность трансгрессивной фазы меньше регрессивной, что свидетельствует о стабилизации тектоно-эвстатического режима, а следовательно и процессов седиментации.

Трансгрессивно-регрессивная цикличность 3 порядка существенно детализирует пространственно-временные особенности строения юрских мегасеквенций. В частности, формирование оксфорд-берриасской мегасеквенции было осложнено тремя циклами 3 порядка. В раннем мелу циклы 2 и 3 порядков практически синхронны. Причиной смены неустойчивого юрского трансгрессивно-регрессивного режима на спокойный раннемеловой, по видимому, была стабилизация вертикальных тектонических движений.

Необходимо особо отметить раннеаптский событийный горизонт, представленный битуминозными глинами и горючими сланцами, являющийся региональным отражением глобального аноксического события ОАЕ-1a (Зорина, 2012б). Формирование битуминозных слоев происходило в конце длительной трансгрессивной фазы цикла 2 порядка. Сразу после завершения накопления данных слоев последовала регрессивная фаза и незначительное обмеление бассейна. По результатам проведенных построений стало очевид-

но, что причина наступления аноксии заключалась не в резком изменении трансгрессивно-регрессивного режима, как считают некоторые авторы. Вероятнее всего, ее следует искать в активизации гигантских магматических провинций, вызвавшей глобальное ухудшение климатических условий и угнетение биоты.

Изменение $\delta A/\delta S$ по разрезу. Отношение изменения объемов аккумуляции к изменению объемов седиментации ($\delta A/\delta S$) было изначально разработано для отбивки проградационно-ретроградационных циклов, выделяющихся преимущественно на пассивных окраинах.

Для среднеюрских-нижнемеловых мегасеквенций характерно доминирование значений больше 1, свидетельствующих о формировании ретроградационных последовательностей. Максимальное значение $\delta A/\delta S$ (12,5) установлено для валанжинской мегасеквенции. Только в позднеаптском интервале расчетное значение $\delta A/\delta S$ оказалось меньше 1, что логично увязывается с приходящейся на данный интервал регрессивной фазой и постепенным опесчаниванием альбских глин вверх по разрезу (проградационная последовательность).

Расчеты значений $\delta A/\delta S$ для циклов 3 порядка также показали почти полное преобладание значений, превышающих 1, и большой разброс самих значений. Примечательно, что в начале позднего титона при формировании битуминозных глин и горючих сланцев значение $\delta A/\delta S$ оказалось равным 0,3, что согласуется с обмелением, установленным по данным микрофаунистического анализа.

Проградационно-ретроградационная цикличность. В основу построения шкалы проградационно-ретроградационной цикличности положено изменение гранулометрического состава пород по разрезу с учетом значений $\delta A/\delta S$, полученных для циклов 2 и 3 порядков.

Все мегасеквенции состоят из ретроградационной и проградационной составляющих, за исключением валанжинской мегасеквенции, у которой проградационная часть размыта. Однотипность строения объясняется воз-

действием на их формирование классических эволюционных механизмов: в трансгрессивную фазу бассейн углублялся, в регрессивную – мелел. Однако этот вывод справедлив только для наиболее общих (трендовых) тенденций эволюции данного бассейна.

Циклы 3 порядка, детализирующие строение мегасеквенций, не всегда подчинены вышеприведенной закономерности. В частности, в нижнебатском интервале байос-келловейской мегасеквенции произошло трансгрессивное обмеление бассейна с налеганием песков и песчаных глин на верхнебайосские глины. Средне-верхнеоксфордские и верхнекимериджско-нижнетитонские глины и мергели отлагались в регрессивную фазу, сопровождающуюся углублением. И, наконец, наиболее яркий пример – образование верхнетитонских битуминозных глин и горючих сланцев в условиях мелеющей трансгрессии. Причиной такого ступенчатого регрессивно-трансгрессивного углубления в оксфорде-раннем титоне и трансгрессивно-регрессивного обмеления в позднем титоне-берриасе, по-видимому, являются кратковременные проявления тектонического «шума», а также вызванные им перерывы в осадконакоплении, сопровождающиеся размывом отсутствующих элементов строения циклов 3 порядка.

В нижнемеловых отложениях свидетельств несовпадения трансгрессивно-регрессивной и проградационно-ретроградационной цикличности не установлено, что еще раз подтверждает в целом более спокойный тектоно-эвстатический и седиментационный фон в раннем мелу в сравнении со средне-позднеюрским режимом осадконакопления.

О значении тектоно-эвстатического анализа

Свиты, сгруппированные в платформенные секвенции, имеют выдержанный по простирацию вещественный состав и широкую распространенность на ВРП. Это обусловлено существованием в геологической истории морского бассейна длительных периодов стабильного (как высокого, так и

низкого) стояния уровня моря с накоплением пород определенного литологического состава на значительных территориях (Зорина, 2012б).

Каждый секвенс формировался в стабильных тектоно-эвстатических условиях, при которых не возникали длительные перерывы в осадконакоплении, во время которых могли бы произойти крупные геодинамические и климатические перестройки, а следовательно мог измениться и фациальный облик осадков. Резкая смена тектоно-эвстатического режима происходила на рубежах, соответствующих границам секвенций. Это обуславливало новый импульс относительно непрерывного накопления осадков, состав которых существенно отличался от осадков предшествующего этапа.

Оказалось, что с каждым из выделенных циклитов связан определенный комплекс твердых полезных ископаемых, т.к. каждый из циклитов характеризуется специфическим вещественным составом, определяющим минерагеническую специализацию отдельных горизонтов, толщ, либо всего циклита (Зорина, 2012б; Основы стратиграфии, 2010).

Стабильный, относительно высокий уровень моря способствовал формированию глин среднеюрского, верхнеюрского и обоих нижнемеловых циклитов, различающихся по минеральному составу, соответственно обладающих разными потребительскими свойствами (светложгущееся, тугоплавкое, огнеупорное, высоковспучивающееся сырье). Стабильным низким уровнем моря вызвано формирование фосфорит- и глауконитсодержащих песчано-конгломератовых слоев пограничного юрско-мелового интервала, являющихся природными фосмелиорантами.

Библиографический список

Алексеев А.С., Олферьев А.Г. Об эвстатических колебаниях уровня моря на Восточно-Европейской платформе в юрском периоде (геттанг – бат)
// Эвстатические колебания уровня моря в фанерозое и реакция на них мор-

ской биоты. Мат-лы совещания (Москва, 13 ноября 2007). Москва, 2007. С.40-48.

Атлас литолого-палеогеографических карт СССР / Гл. редактор А.П. Виноградов. Том IV. Палеогеновый, неогеновый и четвертичный периоды / Под ред. В.И. Гроссгейма, В.Е. Хаина. ВАГТ. М.: Мингео СССР, 1967. 55 карт.

Атлас литолого-палеогеографических карт СССР / Гл. редактор А.П.Виноградов. Том III. Триасовый, юрский и меловой периоды / Под ред. В.Н.Верещагина, А.Б.Ронова. ВАГТ. М.: Мингео СССР, 1969. 71 карта.

Беляков С.Л., Гладенков Ю.Б., Шлезингер А.Е. Стратиграфические исследования, основанные на эвстатических колебаниях // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т.1. № 6. С.3–10.

Волков К.Р., Шлезингер А.Е. Событийная стратиграфия и колебания уровня моря (Международная программа «Глобальная седиментология») // Известия РАН. Серия геологическая. 1992. № 6. С. 58–66.

Габдуллин Р.Р., Копаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия. Учебное пособие. М.: Макс Пресс. 2008. 113 с.

Гладенков Ю.Б., Шлезингер А.Е. Отражение колебаний уровня моря в геологической летописи // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1993. Т. 1. № 4. С. 3–10.

Захаров В.А., Бейзель А.Л., Лебедева Н.К., Хоментовский О.В. Свидетельства эвстатики Мирового океана в нижнем мелу на севере Сибири // Геология и геофизика. 1991. № 8. С. 8–15.

Захаров В.А., Шурыгин Б.Н., Левчук М.А., Пинус О.В., Сахагян Д.Л. Эвстатические сигналы в юрских и нижнемеловых (неокомских) отложениях Западно-Сибирского осадочного бассейна // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. С. 1492–1504.

Зорина С.О. Аккомодационно-седиментационные механизмы формирования осадочных последовательностей в платформенных бассейнах // Доклады Академии наук. 2014а. Т. 455. № 6. С. 672–675.

Зорина С.О. Механизмы осадконакопления в эпиконтинентальных бассейнах. Учебно-методическое пособие. Казань: Казан. ун-т, 2012а. 33 с.

Зорина С.О. О взаимосвязи литологического строения морских осадочных разрезов с эвстатическими колебаниями и тектоническими движениями // Отечественная геология. 2007. № 6. С. 52–55.

Зорина С.О. Седиментационный режим и аккомодационное пространство в средней юре – раннем мелу на востоке Русской плиты // Геология и геофизика. 2014б. Т. 55. № 10. С. 1509–1520.

Зорина С.О. Секвенс-стратиграфия нижнемеловых отложения востока Русской плиты // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 5. С. 566–575.

Зорина С.О. Среднеюрские-нижнемеловые тектоно-эвстатические циклиты востока Русской плиты // Доклады Академии наук. 2012б. Т. 444, № 6. С. 631–634

Зорина С.О. Цикло- и секвенс-стратиграфия средне-верхнеюрских отложений востока Русской плиты // Стратиграфия и седиментология нефтегазоносных бассейнов. 2008. № 1. С. 31–49.

Зорина С.О., Жабин А.В. Основные направления и уровни секвенс-стратиграфических исследований в России и за рубежом // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2010. № 2. С. 83–93.

Зорина С.О., Старцева Г.Н. Биофации бентосных фораминифер, палеобатиметрия и секвенс-стратиграфия среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты (район Татарско-Шатрашанской скважины 1, Республика Татарстан) // Литосфера. 2010. № 4. С. 81–93.

Ильин А.В. Структурная седиментология - новое направление в изучении осадконакопления // Известия высших учебных заведений/ Геология и разведка. 1991. № 7. С. 33–46.

Карогодин Ю.Н. Введение в нефтяную литмологию. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 240 с.

Карогодин Ю.Н. Методологические вопросы литмологии и секвенс-стратиграфии // Геология и геофизика. 1996. Т.37. № 4. С. 3–12.

Карогодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.

Карогодин Ю.Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. Т. 1. Мел Западной Сибири. Новосибирск: Ак. изд-во «Гео», 2006. 166 с.

Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Учебное пособие. Екатеринбург, 2005. 289 с.

Милановский Е.Е., Никишин А.М., Копаевич Л.Ф. и др. О корреляции фаз реорганизации кинематики литосферных плит и короткопериодных изменений уровня Мирового океана // ДАН. 1992. Т.326. № 2. С. 313–317.

Михайлов Ю.А., Шлезингер А.Е. Относительные колебания уровня моря // Сов. геология. 1989. № 11. С. 68–73.

Найдин Д.П. Сейсмостратиграфия и Seismostratigraphy // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 1989. Т.64. Вып. 1. С. 14-23.

Найдин Д.П. Эвстазия и континентальные моря Восточно-Европейской платформы. Статья 1. Океаносфера и моря платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1995. Т.70. Вып. 2. С. 41–58.

Найдин Д.П. Эвстазия и континентальные моря Восточно-Европейской платформы. Статья 2. Верхнемеловые секвенции платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1995. Т.70. Вып. 5. С. 49–65.

Найдин Д.П., Барабошкин Е.Ю. Об использовании стратиграфических данных по Русской плите для реконструкции юрских и меловых эвстатических колебаний уровня моря // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69. Вып. 5. С. 118–127.

Найдин Д.П., Сазонова И.Г., Пояркова З.Н., Джалилов М.Р., Папулов Г.Н., Беньямовский В.Н., Копаевич Л.Ф. Меловые трансгрессии и регрессии Восточно-Европейской платформы, Крыма и Средней Азии // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1980. Т.55. Вып. 5. С 27–42.

Основы стратиграфии: лекции. Часть 1. Учебно-метод. пособие / сост. В.В. Силантьев, С.О. Зорина. Казань, 2010. 44 с.

Основы стратиграфии: лекции. Часть 2. Учебно-метод. пособие / сост. В.В. Силантьев, С.О. Зорина. Казань, 2010. 68 с.

Прозоровский В.А. Общая стратиграфия. 2-е изд. М., 2010. 208 с.

Сазонова И.Г., Сазонов Н.Т. Палеогеография Русской платформы в юрское и раннемеловое время. Труды ВНИГНИ. Вып. LXII. Л.: Недра, 1967. 260 с.

Степанов Д.Л., Месежников М.С. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований). Л., 1979. 423 с.

Стратиграфический кодекс. Изд. 3-е, дополненное. СПб, 2006, 96 с.

Филатова Н.И. Меловая эволюция континентальных окраин в контексте глобальных событий // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т.6. № 2. С. 3–17.

Шлезингер А.Е., Гладенков Ю.Б., Захаров В.А. К оценке новых методических приемов секвенс-стратиграфического анализа // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14. № 6. С. 117–120.

Шурыгин В.Н., Пинус О.В., Никитенко Б.Л. Секвенс-стратиграфическая интерпретация келловей и верхней юры (васюганский горизонт) юго-востока Западной Сибири // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 6. С. 843–862.

Berggren W.A., Kent D.V., Swisher III, C.C., Aubry M.-P. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In W.A. Berggren, D.V. Kent, M.-P. Aubry, and J. Hardenbol (Eds.). Geochronology, Time scales and Global Stratigraphic Correlation: Tulsa. SEPM Special Publication. 1995. Vol. 54. P. 129–212.

Barrell J. Rhythms and the measurements of geological time // Geological Society of America Bulletin. 1917. Vol. 28. P. 745–904.

Catuneanu, O. Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam. Elsevier, 2006. 375 p.

Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls // *Journal of African Earth Sciences*. 2002. Vol. 35. P. 1–43.

Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., Blum, M.D., Dalrymple, R.W., Eriksson, P.G., Fielding, C.R., Fisher, W.L., Galloway, W.E., Gibling, M.R., Giles, K.A., Holbrook, J.M., Jordan, R., Kendall, C.G.St.C., Macurda, B., Martinsen, O.J., Miall, A.D., Neal, J.E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H.W., Pratt, B.R., Sarg, J.F., Shanley, K.W., Steel, R.J., Strasser, A., Tucker, M.E., Winker C. Towards the standartization of sequence stratigtaphy // *Earth-Science Reviews*. 2009. Vol. 92. P. 1–33.

Conrad C.P. The solid earth's influence on sea level // *Bulletin of the Geological Society of America*. 2013. Vol. 125. P. 1027–1052.

Curry J.R. Transgressions and regressions. In: R.L. Miller (Ed.). *Papers in Marine Geology*. Macmillan. New York, 1964. P. 175–203.

Einsele G. *Sedimentary Basins: Evolution, Facies and Sediment Budget*. B.: Springer-Verlag. 2000. 792 p.

Fichter L.S., Poché D.J. *Ancient environments and the interpretation of geologic history*. 3rd. ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River. New Jersey. 2001. 309 p.

Galloway W.E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units // *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1989. Vol. 73. No. 2. P. 125–142.

Galloway W.E., Hobday D.K. *Terrigenous clastic depositional systems*. New York. Springer-Verlag, 1983. 423 p.

Grabau A.W. In: *Principles of Stratigraphy*. A.G. Seiler. New York, 1913. 1185 p.

Gradstein, F. M., Agterberg, F. P., Ogg, I. G., Hardenbol, J., Van Veen, P., Thierry, J., Huang, Z. A Mesozoic time scale // *Journal of Geophysical Research*. 1994. Vol. 99. P. 24051–24074.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. et al. *A Geologic Time Scale* 2004. Cambridge University Press. Cambridge, 2004. 589 p.

Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M., Ogg, G. (Eds.), The Geologic Time Scale 2012. Vols. 1–2. Elsevier, Oxford, 2012. 1176 p.

Hallam A. A re-evaluation of Jurassic eustasy in the light of new data and the revised Exxon curve. In: Wilgus, C.K., B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.): Sea-Level Changes – An Integrated Approach. SEPM Special Publication. 1988. Vol. 42. P. 261–273.

Hallam A. A review of the broad pattern of Jurassic sea-level changes and their possible causes in the light of current knowledge // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2001. Vol. 167. P. 23–37.

Hallam A. A revised sea-level curve for the Early Jurassic // *Quarterly Journal of the Geological Society of London*. 1981. Vol. 138. P. 735–743.

Haq B.U. Phanerozoic sea-level changes: Anthony Hallam. Perspectives in Paleobiology and Earth History. Series 3. Columbia University Press. New York. N.Y., 1992. 266 p.

Haq B.U. Cretaceous eustasy revisited // *Global and Planetary Change*. 2014.V.113. P. 44–58.

Haq B.U., Al-Qahtani A.M. Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform // *Geoarabia*. 2005. V. 10. N. 2. P. 127–160. 2 charts.

Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic // *Science*. 1987. Vol. 235. P. 1156–1167.

Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic cycles. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A.Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.). Sea Level Changes – An Integrated Approach: Tulsa. 1988. SEPM Special Publication. Vol. 42. P. 71–108.

Haq, B.U., and Schutter, R. A chronology of paleozoic sea-level changes // *Science*. 2008. Vol. 322. P. 64–68.

Hardenbol J., Thierry J., Farley M.B., Jacquin Th., De Graciansky P.-Ch., Vail P.R. Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic framework of European Basins. Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM. Special Publication. 1998. N. 60. P. 3–13. Appendix. P. 763–781. 8 charts.

Hubbard R.J. Age and significance of sequence boundaries on Jurassic and Early Cretaceous rifted continental margins // AAPG Bulletin. 1988. Vol. 72. P. 49–72.

Kunin N.Ya., Segalovich I.E. A seismostratigraphic analysis of Lower Cretaceous deposits in the northern part of the West Siberian Basin // Sedimentary Geology. 1996. Vol. 102. Is. 1–2. P. 23–32.

Miall A.D. Exxon global cycle chart: an event for every occasion? // Geology. 1992. Vol. 20. P. 787–790.

Miall A.D. Whither stratigraphy? // Sedimentary Geology. 1995. Vol. 100. P. 5–20.

Miall A.D., Miall C.E. Sequence stratigraphy as a scientific enterprise: the evolution and persistence of conflicting paradigms // Earth-Science Reviews. 2001. Vol. 54. P. 321–348.

Miller K.G., Fairbanks R.G., and Mountain G.S. Tertiary Oxygen isotope synthesis, sea-level history and continental margin erosion // Paleoceanography. 1987. Vol. 2. P. 1–19.

Miller K.G., Kominz M.A., Browning J.V., Wright J.D., Mountain G.S., Katz M.E., Sugarman P.J., Cramer B.S., Christie-Blick N., Pekar S.F. The Phanerozoic Record of Global Sea-Level Change // Science. 2005. Vol. 310. No. 5752. P. 1293–1298.

Mitchum R.M. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In C.E. Payton (Ed.). Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1977. Vol. 26. P. 205–212.

Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Steinberger B., Heine C. Long-term sea-level fluctuations driven by ocean basin dynamics // Science. 2008. Vol. 319. P. 1357–1362.

Neal J., Abreu V. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method // Geology. 2009. Vol. 37. No. 9. P. 779–782.

Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. Eustatic controls on clastic deposition. I. Conceptual framework. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A.Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.). *Sea Level Changes - An Integrated Approach*. Tulsa. 1988. SEPM Special Publication. Vol. 42. P. 110–124.

Posamentier H.W., Vail P.R.. Eustatic controls on clastic deposition. II. Sequence and systems tract models. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A.Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.). *Sea Level Changes - An Integrated Approach*: Tulsa. 1988. SEPM Special Publication. Vol. 42. P. 125–154.

Ross M. I. Influence of plate tectonic reorganization and tectonic subsidence on the Mesozoic stratigraphy of northwestern and southeastern Australia; Implication for sequence stratigraphic analysis // *Australian Petroleum Exploration Association Journal*. 1995. Vol. 3. Part 1. P. 253–279.

Sahagian D. Epeirogeny of Europe and Western Asia // *Cretaceous Research*. 1989. Vol. 10. No. 1. P. 33–48.

Sahagian D., Pinous O., Olferiev A., Zakharov V., Beisel A. Eustatic curve for the Middle Jurassic through Cretaceous based on Russian Platform and Siberian stratigraphy: Zonal resolution // *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1996. Vol. 80. P. 1433–1458.

Sahagian D.L., Pinous O.V., Shurygin B.N. Application of high resolution sequence stratigraphy and a Quantified Eustatic Curve to Mid-Upper Jurassic productive units of the Nyurolskaya Depression, West Siberia, Russia. *AAGP Annual Meeting. Abstracts and programs*. 1997. P. A100.

Sahagian D., Pinous O., Zakharov V., Levchuk M. Quantified eustatic history for Bajocian (Middle Jurassic) through Santonian (Upper Cretaceous): preliminary application to the Upper Jurassic-Neocomian strata of the West Siberian Basin. *GSA Annual meeting. Abstracts with programs*. 1995. Vol. 27. No. 6. P. 178.

Sahagian D., Jones M. Quantified Middle Jurassic to Paleocene eustatic variations based on Russian Platform stratigraphy: stage level resolution // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1993. Vol. 105. No. 8. P. 1109–1118.

Sahagian D., Holland S.M. Eustatic sea-level curve based on a stable frame of reference: preliminary results // *Geology*. 1991. Vol. 19. No. 12. P. 1209–1212.

Sarg J.E. Carbonate sequence stratigraphy. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross, and J.C. Van Wagoner (Eds.). *Sea Level Changes – An Integrated Approach*. Tulsa. 1988. SEPM Special Publication. Vol. 42. P. 155–181.

Sharland P.R., Casey D.M., Davies R.B., Simmons M.B., Sutcliffe O.E. Arabian Plate Sequence Stratigraphy – revision to SP2 // *Geoarabia*. 2004. V. 9. No. 1. P. 199–214. 2 charts.

Sharland P.R., Archer R., Casey D.M., Davies R.B., Hall S.H., Heward A.P., Horbury A.D., Simmons M.D. Arabian Plate Sequence Stratigraphy // *Geoarabia Special publication 2*. 2001. Gulf Petrolink – Bahrain. 371 p.

Simmons M.D., Sharland P.R., Casey D.M., Sutcliffe O.E. Arabian Plate sequence stratigraphy: Potential implications for global chronostratigraphy // *Geoarabia*. 2007. Vol. 12. No. 4. P. 101–130.

Sloss L.L. Sequence in the cratonic interior of North America // *Geological Society of America Bulletin*. 1963. Vol. 74. P. 93–114.

Sloss L.L. Synchrony of Phanerozoic sedimentary-tectonic events of the North American craton and Russian Platform. 24th IGC, 1972. Montreal. Ser. 6. 1973. P. 24–32.

Sloss L.L., Krumbein W.C., Dapples E.C. Integrated facies analysis. In: Longwell C.R. (Ed.). *Sedimentary Facies in Geologic History*. 1949. Vol. 39. Geological Society of America Memoir. P. 91–124.

Thorne J. R., Watts A. B. Seismic reflectors and unconformities at passive continental margins // *Nature*. 1984. Vol. 311. P. 365–368.

Vail P.R., Mitchum Jr. R.M., Thompson III S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 3: relative changes of sea level from coastal onlap.

In: Payton C.E. (Ed.). Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. 1977. Vol. 26. American Association of Petroleum Geologists Memoir. P. 63–81.

van Wagoner J.C., Mitchum R.M., Campion K.M., Rahmanian V.D. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies: American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series. 1990. No. 7. P. 1–55.

Wheeler H.E. Base level, lithosphere surface, and time-stratigraphy // Geological Society of America Bulletin. 1964. Vol. 75. P. 599–610.

Wheeler H.E., Murray H.H. Base level control patterns in cyclothemic sedimentation // American Association of Petroleum Geologists. 1957. Bulletin 41. P. 1985–2011.

Williams G.D. Tectonics and seismic sequence stratigraphy: an introduction. In G.D. Williams, A. Dobb (Eds.). Tectonics and seismic sequence stratigraphy. Geological Society Special Publication. 1993. No. 71. P. 1–13.

Winter H. de la R. Tectonostratigraphy, as applied to the analysis of South African Phanerozoic basins // Trans. Geol. Soc. S. Afr. 1984. Vol. 87. P. 169–179.

Электронные ресурсы:

<http://www.sepmstrata.org>

ЧАСТЬ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1. Составить реферат и сделать доклад на семинаре

Темы рефератов

- Европейская стратиграфическая школа: основные представители и их вклад в науку.

- Точки глобальных стратотипов границ (общие требования к разрезам, описание одного из GSSP)

- Николай Алексеевич Головкинский – выдающийся представитель Казанской геологической школы, вклад в развитие стратиграфии.

- Шкала геологического времени – 2004. Краткий обзор.

- История стратиграфических исследований на территории Республики Татарстан

- История разработки Международных стратиграфических шкал

- История становления и развития секвенс-стратиграфии

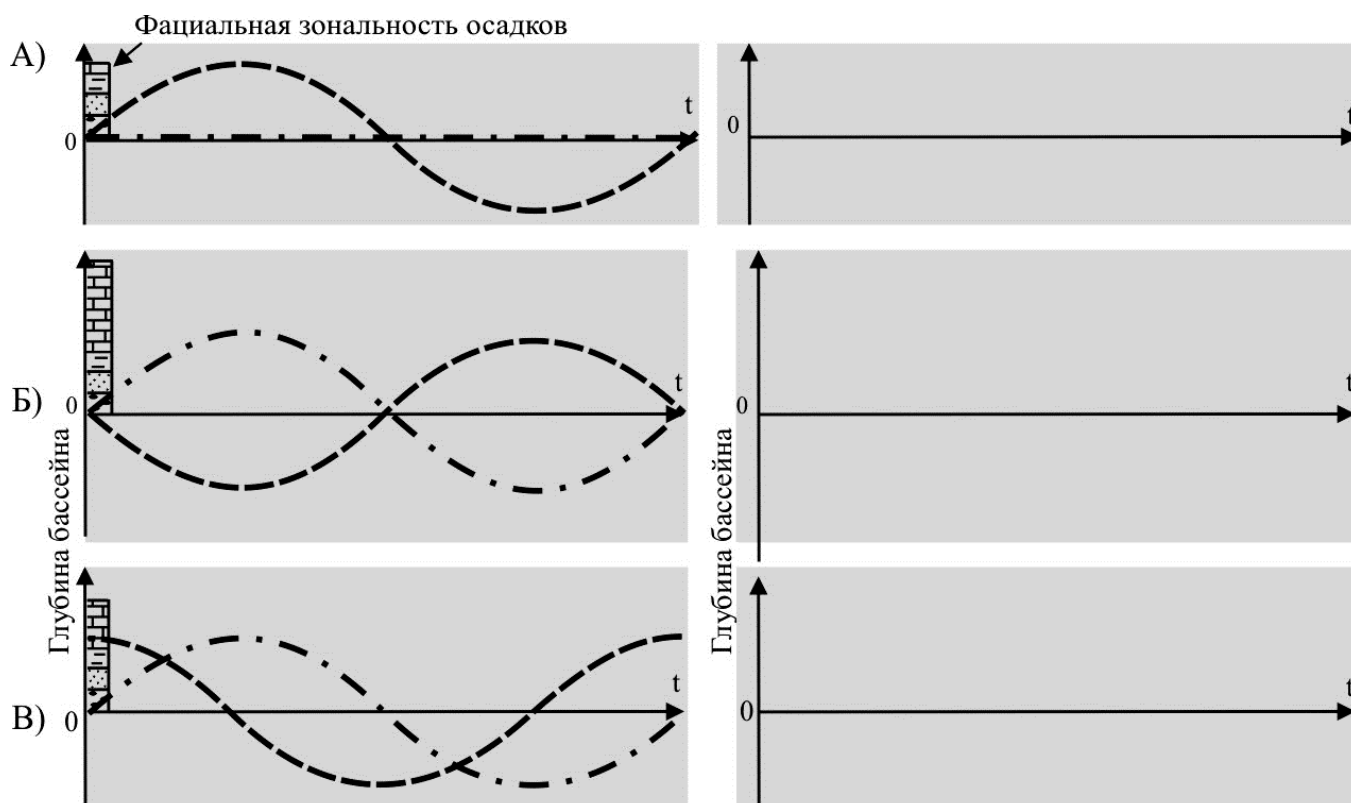
- Основные термины и понятия секвенс-стратиграфии

- Строение секвенции. Системные тракты (модель по Van Wagoner, 1990)

Задание № 2

Фамилия И.О. _____ группа № _____ Дата _____

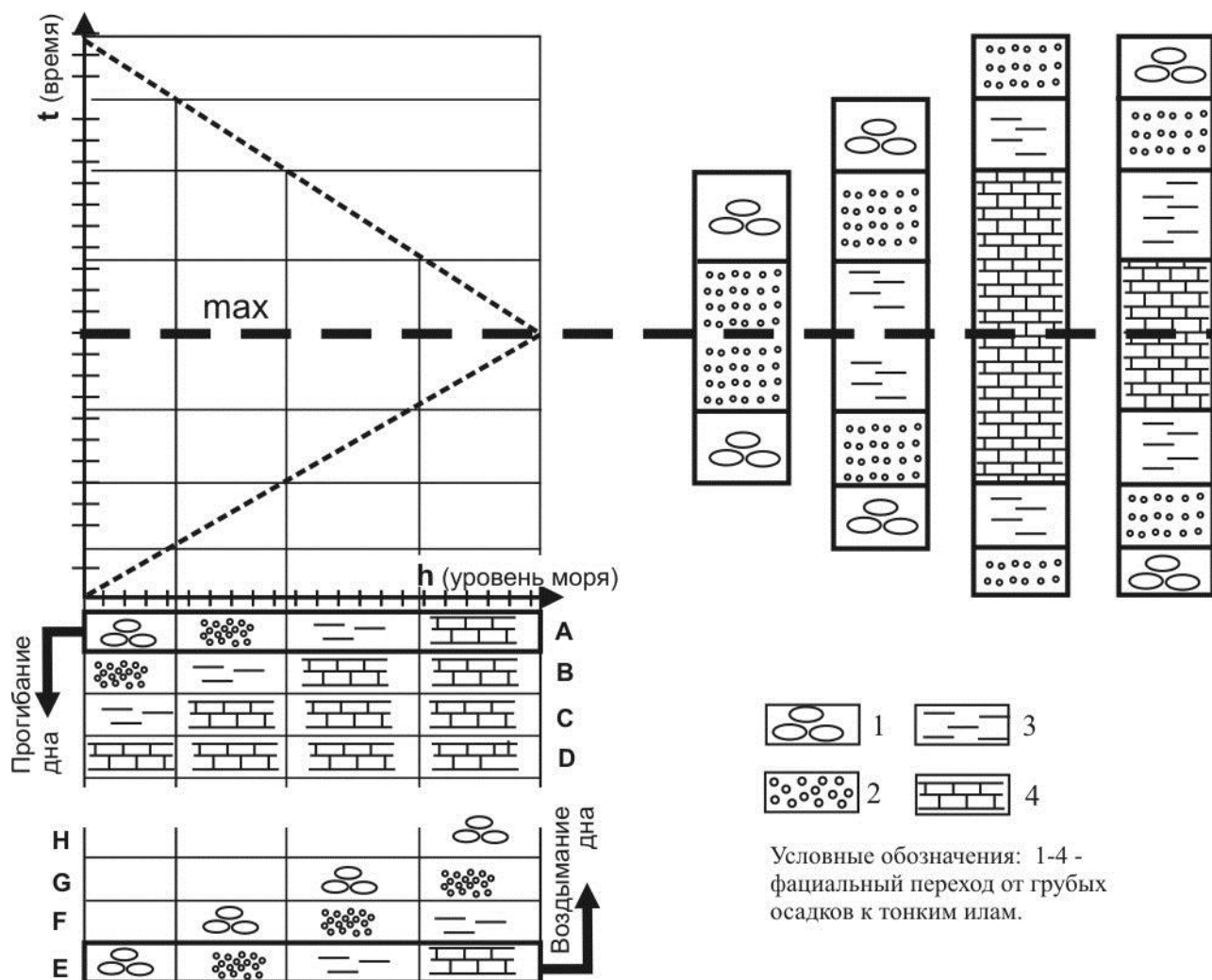
Применяя литолого-батиметрическую модель, построить батиметрическую кривую и определить литологический состав сформированной осадочной последовательности.



Условные обозначения: 1 - глобальный уровень моря; 2 - уровень дна седиментации; 3 - региональный уровень моря (глубина бассейна); 4-7 - фациальный спектр осадков от грубообломочных до тонких илов, отлагающихся по мере удаления от береговой линии вглубь бассейна.

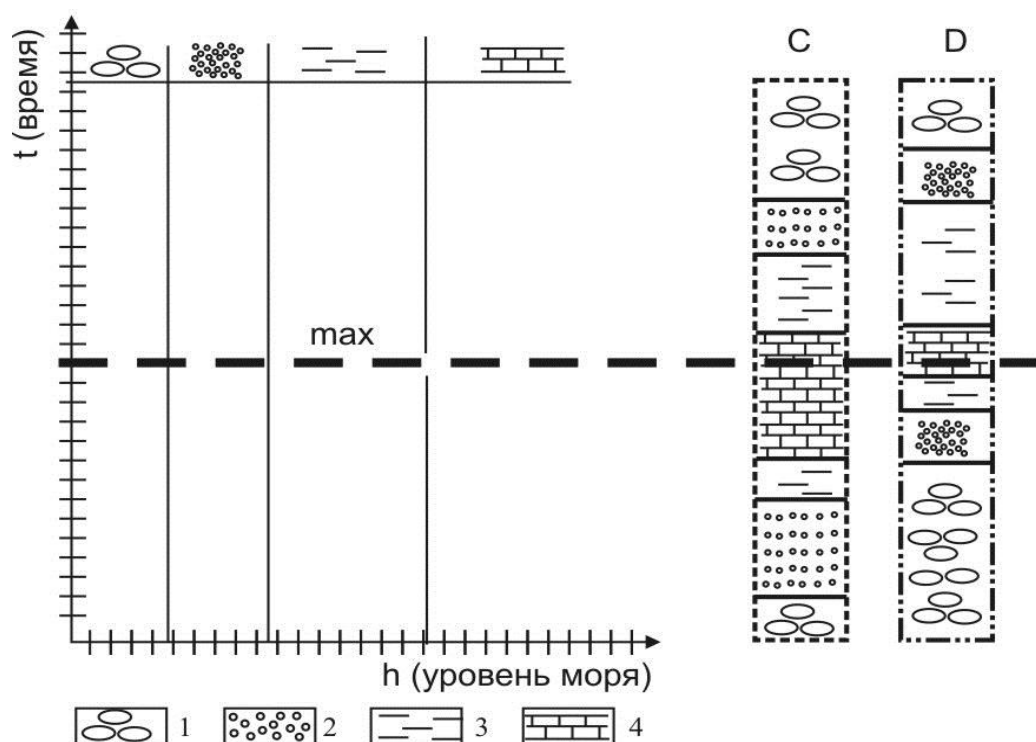
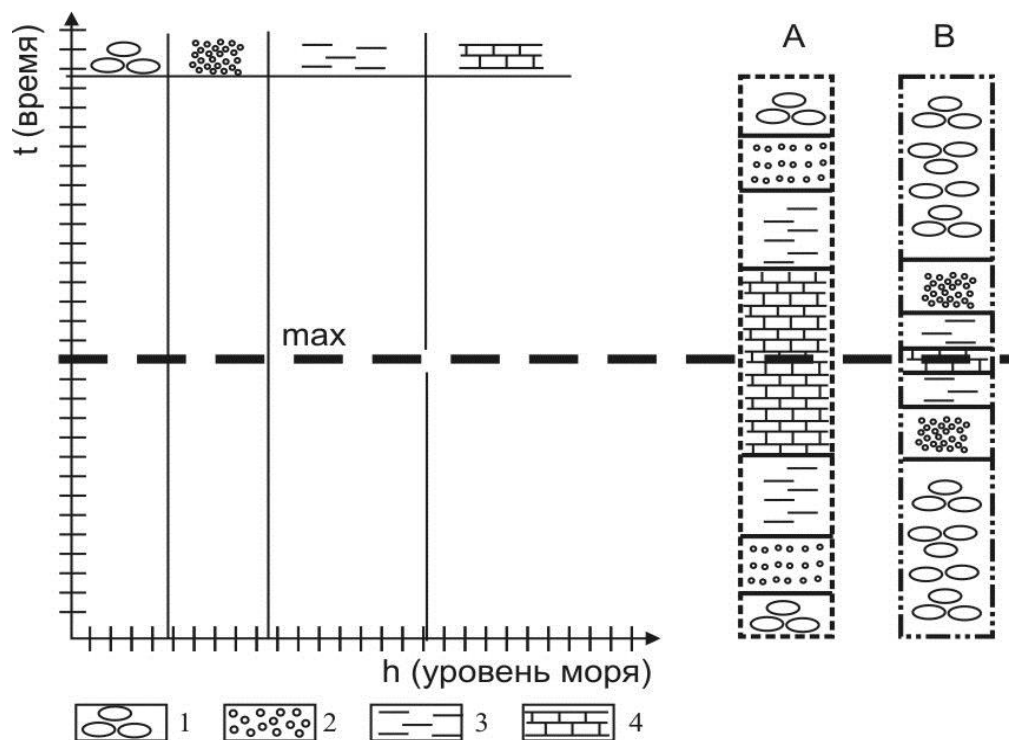
Фамилия И.О. _____ группа № _____ Дата _____

Применяя тектоно-эвстатическую временную модель, определить, какой из вариантов тектонического воздействия приводит к формированию каждого из 4 разрезов.



Фамилия И.О. _____ группа № _____ Дата _____

Применяя эвстатическую временную модель, построить эвстатические кривые для вариантов разрезов А, В, С, D



Условные обозначения: 1-4 - фациальный переход от грубых осадков к тонким илам.

Задания № 4-5 по корреляции скважин

Ф.И.О. _____

группа _____

- 1) Составить детальную стратиграфическую схему на основе расчленения скважины 1 (по шаблону)
- 2) Составить секвенс-стратиграфическую схему, выделить секвенции и дать им названия.

Скважина 1. Альтитуда – 222 м.

Верхний кампан. Ардымская свита. 0-3 м. Опока темно-серая с глауконитом

Нижний сантон. Кирзятская свита. 3-32 м. Мергель беловато-светло-серый, с пятнами темно-серого окремнения, опоковидный, крепкий

Нижний-верхний коньяк. Сурская свита. 32-40 м. Мергель желтовато-белый, средней крепости, опоковидный

Средний альб. Аловская толща. 40-59 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, с гнездами и прослоями кварц-глауконитового песка.

Нижний-средний апт. Зарыклейская толща. 59-104 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая.

Нижний апт. Ульяновская толща. 104-108 м. Глина коричневатая-серая, битуминозная, с прослоем алевролита серого, битуминозного, известковистого, с аммонитами.

Нижний апт. Хмелевская толща. 108-120 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с обломками перлдамутрового слоя аммонитов.

Нижний-верхний баррем. Уренская толща. 120-186 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с редкими линзами и прослоями зеленого глауконитового алевролита.

Верхний готерив. Климовская свита. 186-237 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с линзами алевролита серого, очень крепкого, известковистого, в подошве с гравием и галькой фосфоритов.

Верхняя юра-нижний мел. Средне-верхневолжский подъярус. Ундорская свита. 237-239 м. Песчаник зеленовато-серый, глауконит-кварцевый, крепкий, известковистый, с обилием аммонитов и пелеципод.

Средневолжский подъярус. Промзинская толща. 239-245 м. Глина коричневатая-серая, битуминозная, сланцеватая, с обилием пирита и фаунистических остатков – аммонитов, пелеципод.

Нижневолжский подъярус. Тразовская толща. 245-255 м. Глина серая, известковистая, с мелкими мергелистыми желвачками.

Верхний кимеридж. Новиковская толща. 255-296 м. Мергель светло-серый, сильно глинистый, слабый, ихнитовый.

Средний келловей. Докучаевская толща. 296-297 м. Мергель буровато-серый, крепкий, с обилием железистых оолитов.

Нижний келловей. Ужовская толща. 297-335 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, алевролитистая, микрослоистая.

Батский ярус. Лаишевская толща. 335-355 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, сильно алевролитистая, микрослоистая, в подошве – песок белый (7 м) кварцевый с галькой кремнистых пород.

Пермская система. Уржумский ярус. 355-360 м. Алевролит кирпично-красный, переслаивающийся с глиной коричневой, безызвестковистой.

Скважина 2. Альтитуда – 256 м.

0-8 м. Мергель белый, мелоподобный, с крупными аммонитами

8-12 м. Мергель серовато-белый, слабый, в подошве с гравием фосфоритов.

12-28 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, с гнездами и прослоями кварц-глауконитового песка и галькой фосфоритов.

28-63 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая.

63-66 м. Глина коричневатая-серая, битуминозная, с прослоем алевролита серого, битуминозного, известковистого, с аммонитами.

66-78 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с обломками перлдамутрового слоя аммонитов.

78-141 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с редкими линзами и прослоями зеленого глауконитового алевролита.

141-193 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с линзами алевролита серого, очень крепкого, известковистого, в подошве с гравием и галькой фосфоритов.

193-198 м. Алевролит коричневатый-серый, битуминозный, сланцеватый, с прослоями глины битуминозной, с обилием пирита и фаунистических остатков – аммонитов, пелеципод.

198-205 м. Глина серая, известковистая, с мелкими мергелистыми желвачками.

205-244 м. Глина светло-серая, мергелеподобная, ихнитовая.

244-245 м. Глина буровато-серая, оолитовая.

245-283 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, алевролитистая, микрослоистая.

283-314 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, сильно алевролитистая, микрослоистая, в подошве – песок кремово-белый (17 м), кварцевый с галькой кремнистых пород.

314-360 м. Алевролит кирпично-красный, переслаивающийся с мергелем голубовато-серым, доломитовым.

Скважина 4. Альтитуда – 195 м.

0-12 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с обломками перлдамутрового слоя аммонитов.

12-65 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с редкими линзами и прослоями зеленого глауконитового алевролита.

65-99 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, микрослоистая, с линзами алевролита серого, очень крепкого, известковистого, в подошве с гравием и галькой фосфоритов.

99-102 м. Глина коричневатая-серая, битуминозная, алевролитовая, сланцеватая, с обилием пирита.

102-108 м. Глина серая, известковистая, с мелкими мергелистыми желвочками.

108-148 м. Глина светло-серая, мергелеподобная, ихнитовая.

148-149 м. Глина буровато-серая, оолитовая, с прослоем мергеля серого, оолитового, с обилием пеллеципод и белемнитов.

149-176 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, алевролитовая, микрослоистая.

176-198 м. Глина темно-серая, безызвестковистая, сильно алевролитовая, микрослоистая, в подошве сильно песчаная, гравелистая.

198-203 м. Известняк беловато-серый, крепкий с прослоями алевролита кирпично-красного.

Шаблон для построения стратиграфической схемы (задание № 1)

| Система | Отдел | Ярус | Подъярус | Свита | Литологическая колонка (строится в масштабе по разрезам трех опорных скважин) | Мощность, м (максимальная) | Литологическая характеристика стратона (по разрезам трех опорных скважин) |
|---------|-------|------|----------|-------|--|-------------------------------|--|
|---------|-------|------|----------|-------|--|-------------------------------|--|

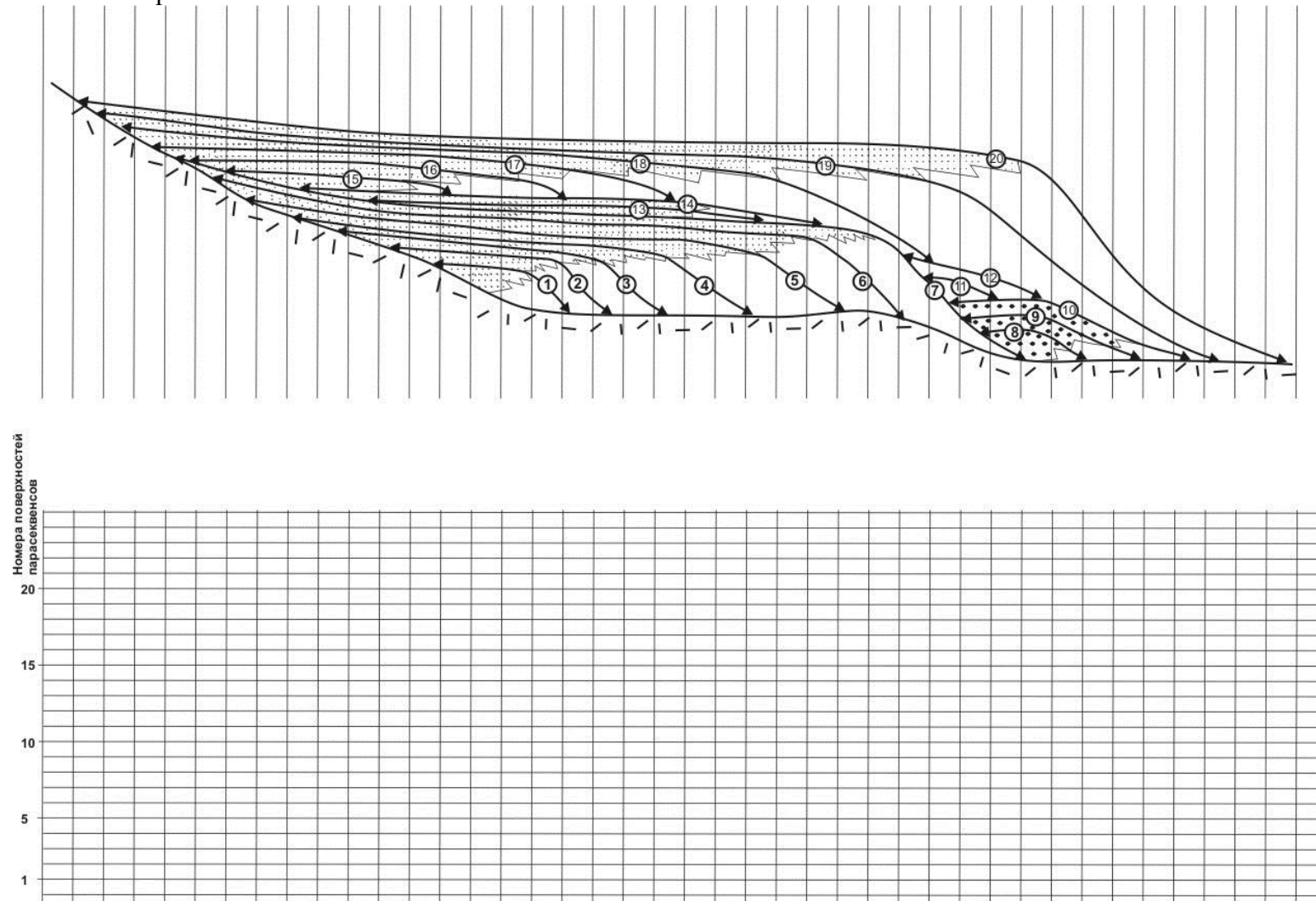
Шаблон для построения секвенс-стратиграфической схемы (задание № 2)

| Время, млн. лет | ШГВ-2004 | | | | Литологическая колонка | Названия секвенций |
|-----------------|----------|-------|------|----------|------------------------|--------------------|
| | Система | Отдел | Ярус | Подъярус | | |

Задание № 6

Фамилия И.О. _____ группа № _____ Дата _____

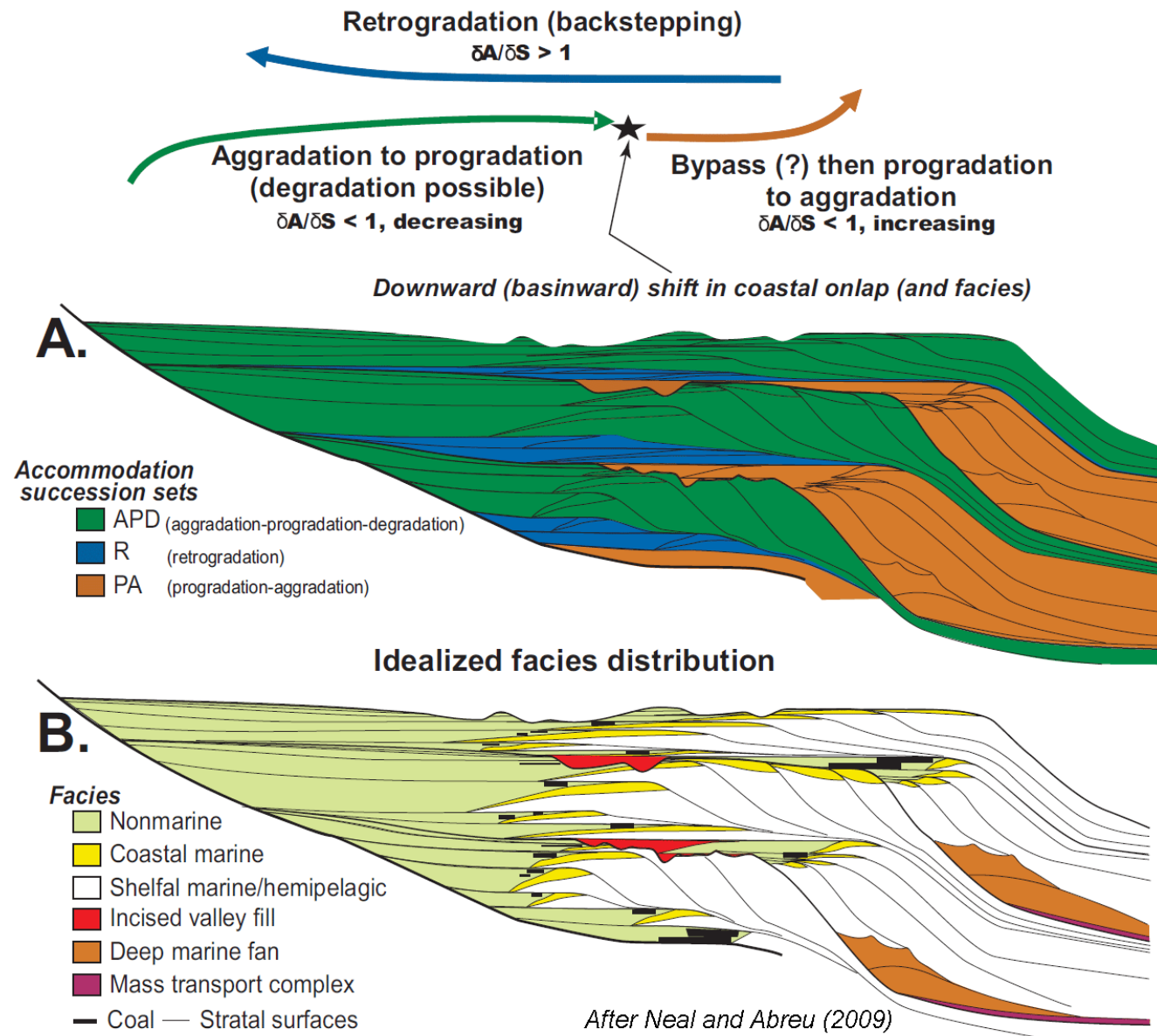
Интерпретируя упрощенный сейсмопрофиль, построить хроностратиграфическую схему с выносом на нее литологии, границ секвенсов, поверхности максимального затопления, трансгрессивной поверхности; построить кривую относительного изменения уровня моря; выделить системные тракты.



Задание № 7

Ф.И.О. _____ группа _____

Пронумеровать поверхности на рисунке А. Построить хроностратиграфическую схему с выносом на нее фаций, границ секвенсов, поверхности максимального затопления, трансгрессивной поверхности; построить кривую относительного изменения уровня моря; выделить системные тракты.

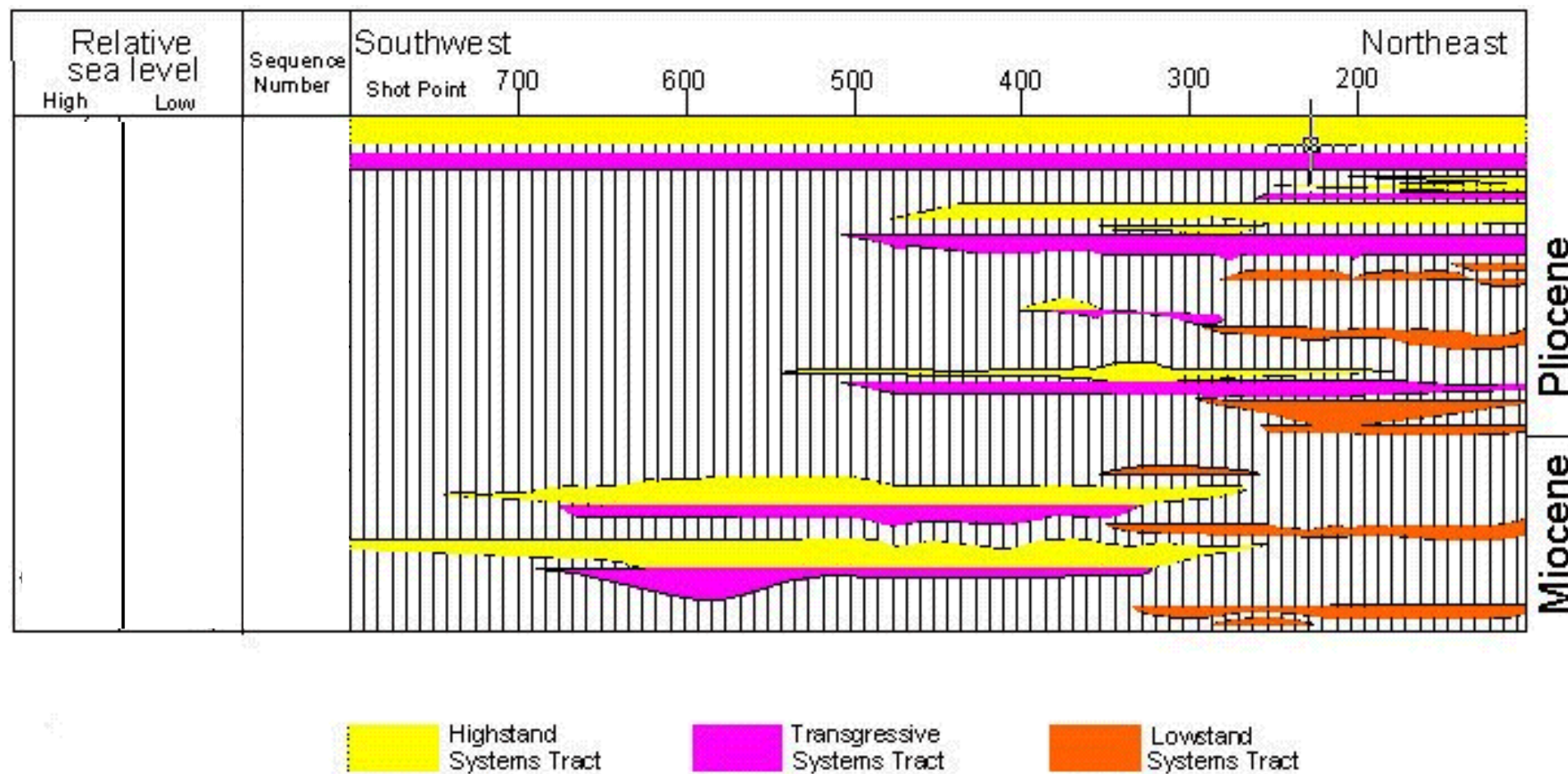


Задание № 8–9

Фамилия И.О.

группа №

Проанализировать хроностратиграфическую схему. Выделить и пронумеровать секвенции. Построить кривую относительных изменений уровня моря. Определить направление сноса терригенного материала.



Вопросы для подготовки к контрольной работе

- Секвенс-стратиграфия: определение, значение для геологической науки, области применения
- Секвенс-стратиграфия в контексте междисциплинарных исследований
- История развития секвенс-стратиграфии, основные противоречия
- Секвенс: определение, иерархия, ранговость. Циклы эвстатических колебаний разных порядков
- Парасеквенс, пакеты парасеквенсов
- Системные тракты.
- Два типа секвенсов
- Тектоно-эвстатический анализ: определение, область применения
- Методика определения тектонического вклада при проведении тектоно-эвстатического анализа

Вопросы к зачету

1. Секвенс-стратиграфия: определение, значение для геологической науки, области применения
2. Секвенс-стратиграфия в контексте междисциплинарных исследований
3. История развития секвенс-стратиграфии, основные противоречия
4. Основные направления развития секвенс-стратиграфии
5. Секвенс-стратиграфические исследования в России: основные результаты
6. Секвенс: определение, иерархия, ранговость. Циклы эвстатических колебаний разных порядков
7. Парасеквенс, пакеты парасеквенсов
8. Системные тракты.
9. Два типа секвенсов
10. Тектоно-эвстатический анализ: определение, область применения

11. Методика определения тектонического вклада при проведении тектоно-эвстатического анализа
12. Тектоно-эвстатический анализ среднеюрских-нижнемеловых отложений востока Русской плиты
13. Влияние эвстазии, вертикальной тектоники и осадконакопления на формирование различных типов осадочных последовательностей (схема)
14. Методы оценки углубления-обмеления, трансгрессии-регрессии (примеры)
15. Накопление осадочных последовательностей при избытке аккомодационного пространства и/или недостатке осадочного материала (с рисунком и примером)
16. Накопление осадочных последовательностей при недостатке аккомодационного пространства и/или избытке осадочного материала (с рисунком и примером)
17. Аккомодационно-седиментационные особенности эволюции морского бассейна в средней юре-раннем мелу на востоке Русской плиты
18. Этапы углубления и обмеления и площадь распространения
19. Трансгрессивно-регрессивная цикличность
20. Изменение $\delta A/\delta S$ по разрезу и проградационно-ретроградационная цикличность
21. Значение тектоно-эвстатического анализа