

УДК 551.7.022.4:553.98.04

Маргулис Л.С.ФГУП «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ)», Санкт-Петербург, Россия ins@vniigri.spb.su

СЕКВЕНСНАЯ СТРАТИГРАФИЯ В ИЗУЧЕНИИ СТРОЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ ЧЕХЛОВ

В статье показано, что секвенсная стратиграфия основана на фундаментальных положениях стратиграфии и литологии. Достижение этой новой отрасли знания заключается в обнаружении и расшифровке седиментационной структуры элементарной ячейки надпородного уровня осадочных систем – секвенса, в определении решающей роли в седиментационной цикличности эвстатических событий и приоритете «косослоистой» стратиграфии над «плоскопараллельной».

Предложена иерархия геологической осадочной системы, показаны высокие возможности секвенс-стратиграфии в создании седиментационных моделей и в прогнозе нефтегазовых резервуаров.

Ключевые слова: секвенс-стратиграфия, осадочные чехлы, нефтегазоносные бассейны, геологические системы

Осадочные чехлы, занимающие около $\frac{3}{4}$ пространства Земли, выделены в самостоятельную оболочку планеты – стратисферу [Вернадский, 1983]. Стратиграфический объем и вещественный состав стратисферы колеблется в широких диапазонах; исключительно разнообразны также строение и взаимоотношения слагающих ее породных ассоциаций. Бурный рост новых исследовательских технологий вызвали в последние десятилетия рождение новых научных направлений, способствовавших прогрессу в понимании строения и геолого-исторической сущности элементов осадочных толщ. Особую важность в этом смысле приобретают достижения сейсмической и секвенсной стратиграфий.

Секвенсная стратиграфия (секвенс-стратиграфия), как оформившееся научное направление, зародилась сравнительно недавно. Датой ее рождения можно считать XII Международный седиментологический конгресс, состоявшийся в Австралии в 1986 г., где одна из секций была посвящена проблеме колебаний уровня моря и их выражению в седиментагенезе [*Sea-level changes...*, 1988; Антипов, Бобылова, Варшавская, 2005]. Эта отрасль знания сформирована на базе фундаментальных положений стратиграфии, седиментологии и учения о фациях. Но ее появление обязано развитию сейсморазведки и «интеллектуальных» компьютерных программ обработки материалов. Секвенс-стратиграфия возникла и родилась из недр сеймостратиграфии и полностью вобрала ее положения и методические разработки.

Особенности строения осадочных чехлов

Главной особенностью осадочных чехлов является слоистое строение, обусловленное громадной чередой природных событий. Свойство стратисферы запечатлять события является стержневым в геологии. Это наглядно было показано еще на рубеже XIX-XX веков Н.А. Головкинским [Головкинский, 1869], А.А. Иностранцевым [Иностранцев, 1972] и позднее И. Барреллом [*Barrell rhythms...*, 1917]. Эти исследователи наметили иерархию природных событий, которая запечатлена в разномасштабной цикличности осадочных толщ. В их иерархии в общем виде можно выделить 3 уровня: 1) часто чередующиеся природные явления; 2) колебания уровня моря; 3) крупномасштабные события, связанные с тектоническими и эвстатическими эпохами.

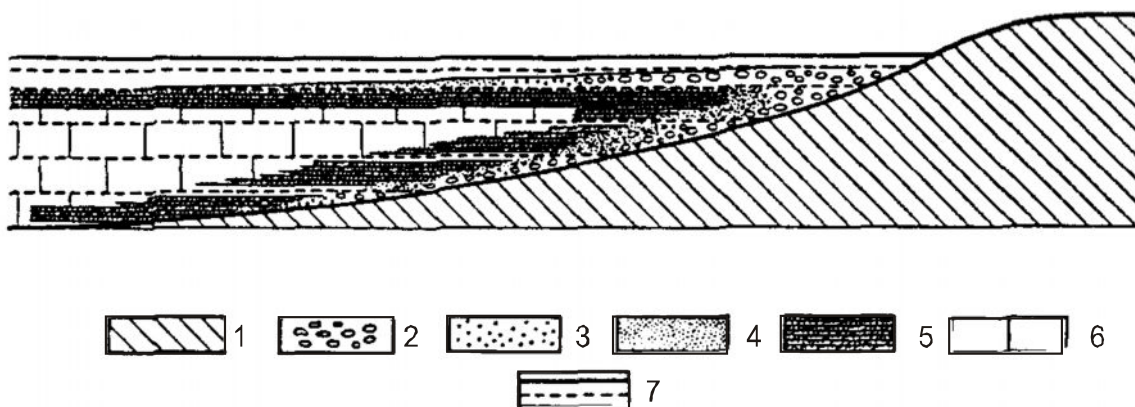
Короткопериодные, часто повторяющиеся события в каждый конкретный момент времени влияют на литодинамику области осадконакопления и определяют характер седиментации. Вещественным проявлением таких событий является элементарный цикл (циклит – по Ю.Н. Карогодину [Трофимук А.А., Карогодина, 1976], микроритм – по Д.В. Наливкину [Наливкин, 1956], многослой – по Н.Б. Вассоевичу [Вассоевич, 1950], слой – по А.М. Кузьмину [Кузьмин, 1950]). В каждой геоморфологической области формирование осадков обусловлено преобладанием определенного вида природных процессов, но, как показывают натурные наблюдения и моделирование [Романовский, 1977], для всех них характерно порционное поступление осадочного материала. Циклы отделены диастемами, продолжительность которых обычно превышает продолжительность накопления слоев.

Осадконакопление характеризуется многократным переотложением материала. Периоды накопления чередуются с периодами размывов и транзитного переноса осадков. Поэтому седиментация может быть рассмотрена в виде стохастического процесса [Колмогоров, 1949]. В таком случае кванту седиментации отвечает элементарный цикл – реализация наиболее крупного и значимого события из серии многочисленных эпизодических явлений. Важно обратить внимание на то обстоятельство, что предшествующие явления, осадки которых были уничтожены более сильным событием, не исчезли бесследно. Их влияние суммировалось в уплотнении нижележащих пород и многократном формировании эрозионной поверхности. Следствием статистического смысла седиментации и конденсации многократной эрозии является образование так называемого «твердого дна». «Твердое дно» можно рассматривать как седиментационную память о предшествующих событиях.

Короткопериодные природные события запечатлены в геологическом разрезе элементарными циклами, а фазы их развития - элементами циклов (результатом дифференциации порционного поступления материала). Элементарные циклы - это собственно седиментационные образования, это циклы осаждения и этим они принципиально отличаются от всех других звеньев иерархии циклических образований.

На примере элементарных циклов можно видеть, что резкие физические разделы свойственны только их границам. Они обусловлены дискретностью осадочного процесса. Фациальные (осадочно-породные) элементы циклов характеризуются постепенными переходами и не образуют физических границ*. Отсюда важный вывод - сейсмический метод отраженных волн может фиксировать только стратиграфические границы. *Так как элементарные циклы отвечают одноактному природному событию, то соответствующие им акустические рефлекторы изохронны.* Таким образом, многочисленные слабые отражения, насыщающие сейсмические разрезы и отвечающие либо границам элементарных циклов, либо суммарному акустическому эффекту от группы таких образований, - это изохронные геологические поверхности.

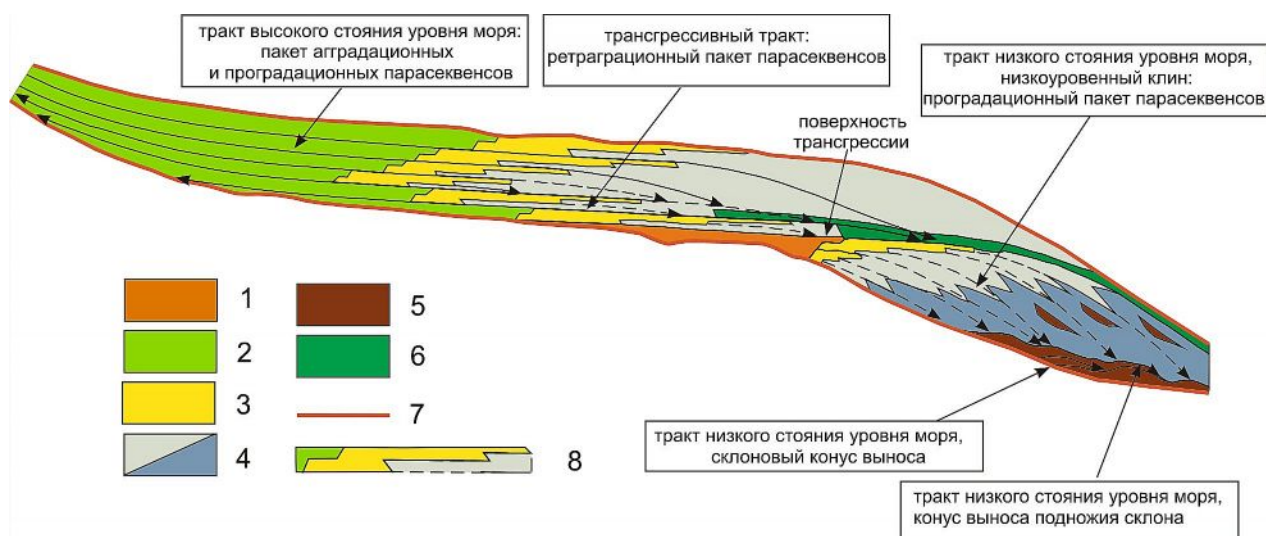
Следующим уровнем иерархии природных событий является изменение уровня моря. Это более крупномасштабное, более длиннопериодное природное событие, которое приводит к крупной цикличности осадочного чехла и образованию четко очерченных стратиграфических единиц (геологическая чечевица Н.А. Головкинского - рис. 1; секвенс П. Вейла - рис. 2).



1 – суша; 2 – конгломерат; 3 – песчаник; 4 – глина; 5 – мергель; 6 – известняк; 7 – уровень моря

Рис. 1. Полный цикл колебаний относительного уровня моря

* имеются в виду только седиментационные границы, не рассматриваются поверхности диагенетических изменений, границы инородных тел и флюидов



1 – речные и эстуариевые песчаники во врезках; 2 – песчаники и глины приморской низменности; 3 – прибрежно-морские песчаники; 4 – глины и тонкие слои песчаников шельфа и склона; 5 – морские конуса выноса и песчаники валов подводных русел; 6 – конденсированные отложения; 7 – границы секвенс; 8 – парасеквенсы

Рис. 2. Модель секвенса (цикла 3 порядка) первого типа

Важно подчеркнуть, что при анализе геологических объектов речь может идти главным образом об относительном изменении уровня моря. Этот параметр включает в себя эффекты тектонических, эвстатических колебаний и изменение объема поступающего материала. На это обратил внимание еще Н.А. Головкинский, который писал, что вывод о фациальной изменчивости отложений «не зависит от нашего воззрения на причины изменения относительного уровня моря и суши, то есть принимаем ли поднятия и опускания суши, или наступление моря, или выполнения бассейнов: он представляет неизбежное следствие твердо стоящего факта, что относительное положение морского уровня изменяется» [Головкинский, 1869, с. 393 – 394].

Процесс изменения уровня моря, как это впервые отметил А.А. Иностранцев [Иностранцев, 1872], происходит не непрерывно, а с паузами: слои образуются и фиксируются в разрезе между этими паузами и, являясь одновременными и литологически неоднородными, как бы прислоняются к берегу. Такое взаимоотношение слоев, известное в сейсмостратиграфии как прибрежное подошвенное налегание, наблюдается на многих разрезах. Величина горизонтальных или вертикальных осадочных приращений при прибрежном подошвенном налегании является основным инструментом определения амплитуды изменения относительного уровня моря, а обобщение таких данных по всему

миру – основой составления кривой изменения уровня Мирового океана [*Сейсмическая стратиграфия*, 1982; Hag, Hardenbol, Vail, 1988; *Mesozoic and Cenozoic...*, 1998].

Циклы относительного изменения уровня моря особенно отчетливо выражены в пределах обширных дельтовых равнин и на бортах топографических палеовпадин - границах областей с разными типами седиментации: шельфовой и глубоководной. Механизм, регулирующий тип седиментации, можно уподобить действию своеобразного клапана, переключающего шельфовую седиментацию на глубоководную с седиментационными свалами через каньоны при опускании уровня моря к бровке шельфа. Такой клапанный механизм, наиболее четко охарактеризованный в секвенс-стратиграфии [*Sea-level changes...*, 1988] и при обосновании уровней лавинной седиментации океана [Лисицын, 1984], назван принципом разнофазности седиментации [Лисицын, 1988]. Осадконакопление по обе стороны от склона глубоководной впадины проявляется разнофазно - накопление на шельфе (высокий уровень моря) определяет седиментационную паузу у подножия склона и, наоборот, обширный шельфовый транзит или размыв (низкое положение уровня моря) обуславливает накопление основной части материала на склоне и у его подножия.

Из принципа разнофазности седиментации различных морфоструктурных областей акватории вытекает, что шельфовые и глубоководные осадки, связанные с одним циклом колебания уровня моря, разновозрастны. Границы осадочных комплексов неодновозрастны, степень их разновозрастности определена периодом колебания уровня моря.

На основе сопоставления графиков изменений относительного уровня моря обширных регионов Земли в концепции секвенс-стратиграфии разработана шкала глобальных (эвстатических) колебаний для мезозоя и кайнозоя [Hag, Hardenbol, Vail, 1988; *Mesozoic and Cenozoic...*, 1998]. Выделяются следующие циклы: первого порядка (мегациклы продолжительностью 68 млн. лет), второго порядка (суперциклы 9-10,5 млн. лет), третьего порядка (0,5-9 млн. лет), четвертого и пятого порядков (продолжительностью, соответственно, в сотни и десятки тысяч лет).

Основным подразделением, характеризующим изменение уровня моря является «секвенс» - цикл третьего (реже четвертого) порядка (рис. 2). Секвенс - это стратон, сформированный за один цикл колебания уровня моря. Его внутренняя структура определена расположением трактов (латеральных рядов) осадочно-породных систем. Секвенс является вещественным откликом на изменение седиментационного пространства между уровнем воды и дном моря. Это цикл заполнения со специфической вещественной организацией.

Время формирования секвенсов (циклов 3 порядка) в мелу не превышала 4,5 млн. лет, в кайнозойе - 4 млн. лет, обычно составляя 1-2 млн. лет. Так как продолжительность формирования секвенсов уже ощутима, то практически везде наблюдается диахронность их границ. Но эта диахронность незначительна и, как правило, не превышает половины объема секвенса.

Таким образом, секвенсы - это дробные протяженные стратиграфические подразделения с хронозначимыми границами и отчетливой вещественной специализацией элементов.

Следующий уровень геологических событий – крупная тектоническая и эвстатическая этапность региона. Продолжительность таких явлений сопоставима, и в этом заключается главная трудность их распознавания. Сложная интерференция тектонических и эвстатических событий особенно характерна для активных континентальных окраин с их «живыми» складчатыми орогенами и разнообразием обстановок осадконакопления.

Рассмотренные разноранговые природные события только с некоторым допущением можно рассматривать как независимые. В действительности характер их проявления в области седиментогенеза зависим – более длительные и более масштабные природные события определяют степень и характер реализации более мелких и более короткопериодных явлений. Тектонический план региона на длительный период времени обуславливает морфоструктуру бассейна осадконакопления, генеральное направление сноса и объем обломочного потока. Тектоническая жизнь региона, помимо интенсивности захоронения осадков, сказывается на крутизне и ширине шельфовой зоны – факторах, влияющих на скорость продвижения и площадное распространение трансгрессий и регрессий и, в свою очередь, определяющих распределение энергии и характер проявления эпизодических природных процессов.

Важно подчеркнуть, что все геологические процессы вещественно реализуются только через короткопериодные события, определяющие физически различимый механизм седиментации. Более крупные события влияют на седиментогенез опосредованно и в осадочном чехле реализуются через компоновку слоёв.

«Элементарный цикл» - это цикл осаждедения; «секвенс» - это цикл заполнения седиментационного пространства; все другие более крупные подразделения – это циклы суммирования «секвенсов» по алгоритму глобальных крупномасштабных событий (космических, тектонических, эвстатических и др.).

Основные положения секвенс-стратиграфии

Концепция секвенс-стратиграфии, как отмечалось ранее, наиболее полно разработана американскими учеными, среди которых можно выделить П. Вейла, Р. Митчема, Г. Посаментьера, Д. Ван Вагонера, М. Джервея, Б. Хага, Д. Харбенбола, Н. Кристи-Блика [*Sea-level changes...*, 1988; *Siliciclastic sequence...*, 1990]. Терминология и иерархия секвенс-стратиграфических единиц еще окончательно не устоялись.

Основной единицей секвенс-стратиграфии является секвенс (рис. 2). Авторы дают такое определение: *секвенс (sequence) – относительно согласная последовательность генетически связанных слоев, ограниченная несогласиями и коррелятивными им согласными поверхностями*. Это достаточно общее определение затрудняет отчетливое представление об объекте исследований. Тем не менее, из сути самой концепции можно прийти к выводу, что «генетически связанные слои» обозначают внутреннюю седиментационную структуру стратона, обусловленную одним колебанием относительного уровня моря.

Таким образом, определение секвенсной стратиграфии можно сформулировать следующим образом. *Секвенсная стратиграфия (секвенс-стратиграфия) – это раздел геологии, занимающийся хроностратиграфической корреляцией и выявлением седиментационной структуры циклических последовательностей, ограниченных несогласиями и коррелятивными им согласными поверхностями, связанных с периодическими изменениями уровня моря*.

Одним из ключевых в секвенс-стратиграфии является понятие *седиментационного пространства* – пространства между поверхностью грунта и уровнем моря. Секвенс является отражением изменения этого пространства, откликом на колебание уровня моря.

Пространственно целостные секвенсы связаны, в основном, с циклами третьего порядка. Более крупные циклы представлены группами секвенсов, а самые мелкие (четвертого и пятого порядков) выделяются в качестве элементов секвенсов - парасеквенсов.

Секвенсы состоят из главных частей - *трактов осадочных систем** (*системных трактов*). Они определяются как ряды литофаций. В модели, в основном, рассматриваются следующие обстановки осадконакопления: приморская равнина, морское мелководье, шельф и склон, подводные конусы выноса, глубоководные конденсированные покровы. Системные тракты образуются при различном характере седиментации, определяемом разной фазой колебания уровня моря относительно бровки шельфа. Понятие о «разнофазной

* термин, принятый в секвенс-стратиграфии, - латерально сменяющиеся сообщества пород определенных обстановок осадконакопления

седиментации», хотя оно и не сформулировано в рассматриваемой концепции в таком виде, является стержневым в секвенс-стратиграфии.

Тракт низкого стояния (ТНС) связан с седиментационными потоками подводных каньонов, активно действующими при снижении уровня моря ниже бровки шельфа. Он сложен, в основном, турбидитами проградационного седиментационного клина и подстилающих его конусов выноса.

Трансгрессивный тракт (ТТ) образуется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа и седиментационно-береговым перегибом, примерно совпадающим с передовым дельтовым баром. Он представлен ретроградационным пакетом парасеквенсов, характеризующим трансгрессию на осушенный шельф и приморскую низменность. В зашельфовой области вследствие дефицита осадков образуется глинистый конденсированный разрез.

Тракт высокого стояния (ТВС) начинается обычно агградационным пакетом парасеквенсов, который по мере снижения темпов подъема уровня моря и его стабилизации сменяется серией проградационных клиноформ. Этот седиментационный клин высокого стояния уровня моря в глубоководной части бассейна превращается в предельно тонкий глинистый покров, наращивающий конденсированный разрез трансгрессивного тракта.

Подошва ТВС (кровля ТТ) является *поверхностью (уровнем) максимального затопления территории*. Осадки максимального затопления шельфа и приморской низменности (ингрессии) и коррелятивный им глубоководный конденсированный покров служат маркирующими горизонтами и изохронными реперами при сопоставлении разрезов. Надежность их выделения и присутствие во всех типах секвенсов послужили основанием для проведения по этим поверхностям границ секвенсов в одной из модификаций секвенс-стратиграфии – генетической стратиграфии [Galloway, 1989].

Прослеживание секвенсов по данным сейсморазведки, керна и каротажа скважин, а также по наблюдениям в обнажениях позволяет создать детальную хроностратиграфическую схему, определить последовательную смену латеральных рядов фаций и воссоздать эволюцию осадочного бассейна или его крупных частей с достоверностью, превосходящей возможности других методов внутрибассейновой корреляции.

При секвенс-стратиграфических исследованиях, как и при прочих методах, основанных на цикличности осадконакопления, важную роль имеет точность прослеживания стратонов. Но границы секвенсов в разных их частях выражены неодинаково и в дистальных звеньях при образовании глинистых покровов практически теряются. На активных окраинах это

обстоятельство усугубляется наличием тектонических нарушений и зон отсутствия сейсмического материала. Поэтому прослеживание этих стратиграфических единиц и составление секвенс-стратиграфических схем требует по возможности комплексирования методов и, в первую очередь, биостратиграфического контроля. Существующие проблемы вполне естественны в период внедрения и освоения нового метода исследований. Но отличие секвенс-стратиграфии от многих традиционных направлений геологии заключается в быстром прогрессе ее технического арсенала. Достижение определенных кондиций и качества наблюдений позволяет максимально приблизиться к расшифровке реальных пространственно-временных взаимоотношений слоевых ассоциаций.

Секвенс-стратиграфия как методология познания геологических систем стратисферы

Секвенс - доселе неизвестная событийно обусловленная ячейка стратисферы - в зародыше содержит основные свойства более крупных геологических объектов, что стимулирует системный подход в исследованиях осадочных чехлов.

Осадочные системы особенно интенсивно изучались последние три десятилетия [Косыгин, 1974; Трофимук, Карогодин, 1976; Круть, 1978; Сочава, 1978; Дмитриевский, 1989; Карогодин, 1990], но до недавнего времени выводы о внутренней структуре основывались на дискретных наблюдениях. Они были, а в ряде случаев остаются, по существу модельными и, в значительной мере, провизорными. *«Толща Земли не просматривается геологом непосредственно.... Пространственные соотношения между телами, определенные по отдельным точкам наблюдения... могут быть истолкованы весьма различно»* [Косыгин, 1974, с. 23]. Широкое внедрение в практику геологических исследований высокоразрешающей сейсморазведки коренным образом изменило ситуацию. Появилась возможность «просматривать» и воочию наблюдать сложные осадочные тела в осадочном чехле. Секвенс-стратиграфия позволила выделить и определить внутреннюю структуру секвенса – элементарного звена надпородного уровня организации вещества и приблизиться к разрешению исконной для геологии проблемы – воссозданию полномерного геологического пространства.

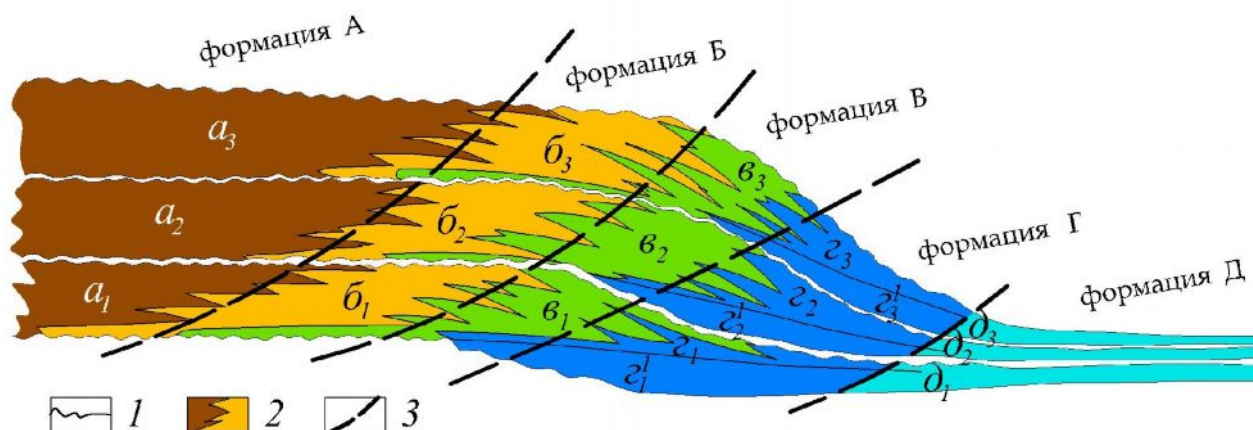
Интегрирующим свойством систем является субординация (иерархия) их элементов. Она выступает как смена уровней организации вещества. Низшая осадочная система выступает в качестве элементарной ячейки системы более высокого ранга. Элементарная ячейка (система) является своеобразным эмбрионом, содержащим уже все основные свойства системы (надсистемы). Закон группирования системы в надсистему выступает в

виде довлеющего «информационного поля», которое обуславливает структуру последнего. Если низшие системы определены, как правило, случайными событиями, то сборные системы формируются «целенаправленно». «Предопределенность» строения природных объектов является одной из главных особенностей крупных систем [Заварзин, 1999].

Секвенс является геологической системой, той генетически (седиментационно) обусловленной ячейкой стратисферы, при разделении которой теряются эмерджентные свойства объекта. Вместе с тем, главные структурные свойства секвенса транслируются в более крупные объекты осадочного чехла. Секвенс и все его стратиграфические (событийные) элементы (слои, парасеквенсы, тракты) – это определенным образом расположенные вещественные компоненты (породы, фации). На примере секвенса в стратисфере четко выделяются две ветви иерархии объектов: событийная (стратиграфическая) и вещественная (осадочно-породная). Так как осадочный чехол «складывается» из секвенсов, то указанные ветви иерархии транслируются на все его подразделения. Их (ветви) можно отнести к самостоятельным системам, но, вероятно, более естественно рассматривать секвенс, а, следовательно, и более крупные циклические звенья осадочного чехла, как цельный объект (систему). В таком случае секвенс как система является «множеством», у которого существенные характеристики каждого элемента делятся на две группы, одна из них позволяет квалифицировать все множество элементов как «вещь», другая - как «структуру» (Е.Ю. Куликов, цитируется по [Дмитриевский, 1989, с.5]).

Таким образом, звенья стратиграфической иерархии (стратиграфические подразделения) отражают структуру осадочной системы, а звенья осадочно-породной иерархии - ее вещественный состав; в целом (структура и вещество) они образуют осадочную систему с отчетливой, но сложной иерархией (рис. 3).

Стратиграфическая ветвь неоднократно обсуждалась в рамках теоретической стратиграфии и в работах по цикличности осадочных образований. В последнее время широкое признание получила циклическая по своей сути секвенс-стратиграфическая шкала мезозоя-кайнозоя, основанная на картировании секвенсов, этих отчетливо структурированных циклов с учетом многочисленных изотопных датировок, магнито- и биостратиграфических данных. Обобщен обширный материал практически по всем регионам мира, главным образом по пассивным окраинам континентов [*Sea-level changes...*, 1988; *Siliciclastic sequence...*, 1990]. Всего в мезозое-кайнозое выделено около 120 секвенсов (циклов 3 порядка).



1 – границы секвенсов; 2 – границы фаций (по [Sea-level changes..., 1988; Siliciclastic sequence..., 1990] – границы осадочных систем); 3 – границы формаций

а, б, в, г, д – градации (нижние цифры – принадлежность в целом к секвенсу, верхние – только к трактам низкого стояния уровня моря);

А, Б, В, Г, Д – формации (схема для терригенного осадконакопления гумидных зон: А – континентальная и паралическая, Б и В – литоральные алеврито-песчаные, Г – склоновая турбидитовая, Д – глубоководная глинистая, глинисто-силицитовая)

Рис. 3. Соотношение стратиграфических и осадочно-породных ветвей геологической системы

Полную иерархию стратиграфических подразделений можно представить в следующем виде: элементарный цикл - парасеквенс – секвенс (цикл 3 порядка) - суперцикл (цикл 2 порядка) - мегацикл (цикл 1 порядка). Вероятно, эту шкалу следует закончить таким подразделением как группа мегациклов. В секвенс-стратиграфической шкале оно выделено как верхний фанерозой (цехштейн – мезозой – кайнозой, 256 млн. лет). Важное место в этой иерархии занимают секвенсы (циклы 3 порядка) и суперсеквенсы (циклы 2 порядка). Последние в конкретных регионах близки по своим объемам структурно-стратиграфическим (геостратиграфическим комплексам*), отвечающим этапам развития осадочных бассейнов.

Осадочно-породная ветвь геологической системы определена породами и их ассоциациями, целостность которых создана в рамках конкретных зон седиментационного бассейна. Каждая обстановка осадконакопления формирует своё осадочно-породное подразделение. В основе выделения вещественных объектов лежит представление об инварианте природных объектов и явлений, что подразумевает сохранение и передачу каких-то существенных свойств на фоне постоянных преобразований. Вертикальные границы осадочно-породных подразделений, если они совпадают с дискретными границами циклов, обычно резкие; латеральные – всегда постепенные. Их постепенный переход друг в друга «транслируется» условными границами ландшафтных зон. Как это хорошо видно при

* по Г.В. Леонову [Леонов, 1973, 1974]

современном осадконакоплении, хотя ареалы обстановок седиментации достаточно очевидны, их взаимопереходы все же постепенны. С возрастанием масштабов увеличивается сложность связей между подразделениями, в зонах перехода они «прорастают» друг в друга, и границу можно провести в значительной мере условно. Единица среды (обстановка, ареал) адекватна своему осадочно-породному подразделению. Череда событий суммирует такие (элементарные) подразделения, образуя разноранговые осадочные тела. Они относятся к классу суммативных [Трофимук, Карогодин, 1976].

Иерархия осадочных-породных подразделений выглядит следующим образом: фация (порода) – градация (ассоциация фаций, пород) – формация (парагенез градаций) – формационный ряд – осадочный чехол.

Элементарным осадочным подразделением является порода (фация) – осадочное образование определенной обстановки седиментации. «Фация – это единица ландшафта... В палеогеографии фация является такой же основной систематической единицей, какой в зоологии является вид» [Наливкин, 1956, с. 7]. Сходное понимание фации, как элементарной осадочной системы, характерно при рассмотрении современных ландшафтов [Сочава, 1978] и океанического седиментогенеза [Мурдмаа, 1978]. Порода (фация) образуется в результате дифференциации осадочного потока короткопериодного, эпизодического события.

Композиция элементарных осадочных единиц (латеральный фациальный ряд) определяет структуру слоя. Свойство элементарных осадочных систем образовывать латеральные ряды полностью «передается» осадочным системам более высоких рангов.

Градация – это устойчивая породная ассоциация (ансамбль фаций), обусловленная единством обстановки осадконакопления (ландшафта) за период формирования секвенса. Можно выделить следующие главные обстановки осадконакопления и соответствующие им осадочно-породные подразделения: флювиальные (континентальные), верхней и нижней сублиторали, переходной зоны и батииали*. Градации образуют латеральные ряды (тракты) секвенса. По своей генетической сущности они более всего соответствуют сериям [Наливкин, 1956] и ландшафтным комплексам [Страхов, 1962]. Термин «градация» заимствован нами у И.В. Хворовой [Хворова, 1961], которая понимала под ним группу близких по условиям образования породных ассоциаций, слагающих часть формации. Проблема такого уровня организации вещества была поставлена и Н.С. Шатским в одной из его последних работ. Он писал, что очень важно решить «*вопрос о количестве породных ассоциаций в формациях, т.е. вопрос о парагенезе породных ассоциаций: здесь я имею ввиду*

* зональность акватории по Л.А. Зенкевичу [Зенкевич, 1963]

парагенез породных ассоциаций внутри формаций...» [Шатский, 1965, с. 172]. Градация представляет собой цельное и хорошо выраженное в осадочных толщах сообщество пород, являющееся главным элементом структуры осадочной системы более высокого ранга. Она содержит уже все элементы формации; это часть целого, в котором выражена вещественная и структурная специфика объекта.

Формация – устойчивый парагенез пород, обусловленный ландшафтным единством в течение длительного периода истории седиментационного бассейна [Страхов, 1962]. Характер границ формаций соответствует закону периферийности систем [Кацура, 1986], сутью которого является то, что для зон контактов различных устойчивых образований характерно возникновение новых элементов, порождающих в конечном итоге новую систему. Такие новые элементы, называемые Н.С. Шатским аллофильными (чуждыми) членами формаций, в виде литологических клиньев пронизывают смежные формации.

Представленная схема (рис. 3) взаимоотношения стратиграфической и осадочно-породной ветвей геологической системы демонстрирует определяющую роль секвенса как элементарной ячейки надпорядкового уровня организации вещества. Для осадочных чехлов можно предложить следующую схему взаимоотношения стратиграфических и осадочно-породных подразделений: слои и циклы низших порядков (парасеквенсы) – ряды пород (фаций); секвенс (цикл 3 порядка) – ряды градаций; цикл 2 порядка – ряды формаций. Осадочно-породное выполнение более крупных стратиграфических подразделений подчинено закономерности смены рядов формаций в различные этапы формирования бассейна.

Осадочная система относится к типу статической. Однако осадочные толщи не остаются неизменными и подвержены постседиментационной эволюции. В осадочном чехле протекают сложные физико-химические процессы, как в минеральной матрице, так и в насыщающих ее флюидах, связанные с погружением толщ, тектоническими напряжениями и воздействием глубинных флюидов. Если рассматривать объекты как совокупность состояний, то можно говорить о динамической осадочной системе. Она как бы накладывается на осадочную (седиментационную) систему. С этих позиций может быть выделена целевая нефтегазовая (нафтидная) система – подразделение осадочного чехла, отвечающее крупному этапу его формирования, характеризующееся сходной структурой, составом и способностью при определенных условиях преобразования генерировать и накапливать углеводороды. Структура нефтегазовой (нафтидной) системы требует

специального рассмотрения. Здесь же отметим, что звенья иерархий геологической осадочной и нефтегазовой систем во многом сопоставимы.

Таким образом, секвенс (цикл 3^{10} порядка) является элементарной надпородной ячейкой осадочных систем. Его внутренняя структура жестко детерминирована характером заполнения седиментационного пространства за период одного колебания уровня моря. Ансамбли секвенсов, проградационно заполняющие конечный водоем стока, формируют осадочную систему, стратиграфическая ветвь которой транслирует событийную структуру секвенса, а осадочно-породная, суммируя вещественное проявление событий, образует формационные ряды (рис. 3). Последние в адекватной нефтегазовой флюидо-динамической системе определяют характер взаимоотношения ее генерационной и аккумуляционной ветвей.

Соответствие модели секвенса натурным наблюдениям

Секвенс-стратиграфические исследования проводятся практически во всех российских нефтегазоносных бассейнах. Они охватили отложения от венда до кайнозоя [*Сейсмостратиграфия нефтегазоносных...*, 1995; *Био- и секвенсстратиграфия...*, 1997; Шлезингер, 1998; *Осадочные бассейны...*, 2004;]. Ниже приведены некоторые примеры таких исследований, где изучены секвенсы различных подразделений фанерозоя.

Одними из наиболее древних детально изученных с позиций секвенсной стратиграфии являются ордовикские отложения Балтийского региона [Дронов, 2000]. Здесь они характеризуют выполнение тектонически стабильного эпиконтинентального бассейна. В существенно карбонатной толще общей мощностью до 200 м, охватывающей все подразделения ордовика, по естественным и скважинным разрезам выделено и прослежено 10 секвенсов* мощностью до 10-30 м и продолжительностью от 1 до 10 млн. лет. Границы секвенсов определены размывами, связанными с осушением значительных площадей приливно-отливной равнины. Верхний секвенс, залегающий под крупным несогласием, маркирующим границу ордовика и силура, сильно эродирован. В остальных секвенсах выделены системные тракты.

Тракты низкого стояния уровня моря часто определены предположительно и распространены неповсеместно. Обычно они заполняют эрозионные неровности и характеризуются значительной примесью глинистого и обломочного материала с глауконитом; в нижнем секвенсе – это кварцевые пески штормового и приливно-отливного генезиса. Тракты высокого стояния уровня моря представлены, в основном,

* в работе они названы секвенциями

биокластическими известняками, мергелями и реже доломитами. Для известняков характерны водорослевые маты, органогенные постройки и рифы. Проградация отложений и регрессии подчеркиваются появлением оолитовых известняков и кукурситов. Во всех секвенсах хорошо выделяются трансгрессивные тракты, представленные обычно глинистыми известняками и черносланцевыми образованиями.

Кривая колебаний уровня моря, составленная на основе изучения отложений Балтийского региона, хорошо согласуется с наиболее значительными трансгрессиями и регрессиями во многих регионах Мира. Она может явиться основой реконструкции колебаний уровня Мирового океана в ордовикский период [Дронов, 2000].

Значительный интерес представляют литолого-фациальные исследования франско-турнейских отложений Тимано-Печорской провинции, по которым ещё в шестидесятые годы прошедшего века были разработаны модели бокового наращивания палеодепрессий [Корреляция разнофациальных..., 1969]. Современными детальными работами здесь прослежены секвенсы* [Беляева, Корзун, Петрова, 1998].

Общая архитектура франско-турнейского комплекса обусловлена последовательным заполнением секвенсами некомпенсированных впадин с глубинами моря 500-700 м, наращиванием карбонатной платформы с перемещением барьерных рифов и карбонатных уступов. Продолжительность формирования секвенсов составляет 4-6 млн. лет, а их мощности изменяются от первых десятков метров в конденсированных депрессионных разрезах до 500-700 м в рифтогенных и склоновых фациях.

Полученный материал привел исследователей к выводу о более естественном проведении границ секвенсов по трансгрессивным поверхностям, как это принято в генетической стратиграфии [Barrell rhythms., 1917], так как тракт низкого стояния уровня моря распространен ограниченно, только в пределах склона и депрессионных зон.

В развитии полного секвенса выделяется 7 стадий: трансгрессивная, максимального затопления территории, конец подъема и стабилизации уровня моря, ранняя (осушение верхней части рифов) и поздняя низкого стояния уровня моря. Отложения первой (трансгрессивной) стадии мощностью в первые десятки метров на шельфе залегают с карманообразной поверхностью размыва. К бровке шельфа они образуют фациальный ряд: мелководные терригенные осадки – биоспариты и микриты – ооидные известняки; в глубоководной зоне накапливались доманикоиды – кремнистые карбонаты и темноцветные аргиллиты с горючими сланцами. Стадия максимального затопления представлена на

* в указанной работе применен термин «секвенция»

шельфе маркирующими пластами аргиллитов мощностью от единиц до первых десятков метров; в депрессионной зоне – доманикоидами с повышенной кремнистостью. Последующие две стадии высокого стояния характеризуют основные периоды формирования рифов. Рифы отчленили шельфовую зону от глубоководья с образованием лагунных глинисто-сульфатно-доломитовых отложений. В условиях подводного размыва органогенных построек формировались пелоидные известняки с био-литокластитами. Они выстилают склон шельфа, образуя фронтальный рифовый шлейф, сменяющийся в депрессионной зоне конденсированным покровом доманикоидов.

Тенденция изменения относительного уровня моря объясняется, в основном, темпом прогибания территории, а её резкие изменения – эвстатическими колебаниями.

Классическим примером секвенсного строения отложений являются волжско-готеривские терригенные отложения Западной Сибири. Они характеризуются отчетливым клиноформным строением, связанным с латеральным заполнением некомпенсированной депрессии. Глубина моря в центральной части бассейна оценивается в 500 м, на отдельных участках в 500-1000 м. Основой выделения и картирования клиноформ являются сейсмические данные, хотя «косослоистая» модель неокомских отложений впервые была разработана при скважинной корреляции отложений [Онищук, Наумов, Векслер, 1977]. Многолетними исследованиями большого коллектива геологов и геофизиков в волжско-барремских отложениях охарактеризовано до 20 клиноформ [*Сейсмогеологическое изучение...*, 1990; Казаненков, 1999]. Клиноформам даны собственные названия по наименованиям выдержанных глинистых пачек, залегающих в их основании и отвечающим максимальному затоплению территории. Ширина неокомских клиноформ колеблется от 30 до 150 км при субмеридиональной протяженности до 1000 км и более.

Все исследователи едины во мнении, что формирование неокомских клиноформ связано с циклами изменения относительного уровня моря и относят их обычно к циклитам (клиноциклитам) регионального и субрегионального ранга [Карогадин, 1996]. Крупные клиноформные подразделения, ограниченные протяженными трансгрессивными поверхностями, связываются с эвстатическими событиями. Выделенные по такому принципу клиноформы ближе всего к секвенсам в понимании В. Галлоуэя [Galloway, 1989]. Это предположение подкрепляется детальными комплексными исследованиями верхнеготеривских отложений Приобского нефтяного месторождения с позиций классической модели секвенс-стратиграфии [Penious et al., 1999]. Обращает на себя внимание сложная седиментационная структура кровельной части высокоуровневого и особенно

низкоуровневого трактов. Сравнительно глубоководные (ачимовские) образования последнего, занимающие не менее 3/4 объема всего секвенса, подразделяются на осадки конусов выноса и перекрывающие их породы проградационного клина. Преобладающая часть обломочного материала сосредоточена у подножия палеосклона, меньшая залегает в различных частях проградационного клина.

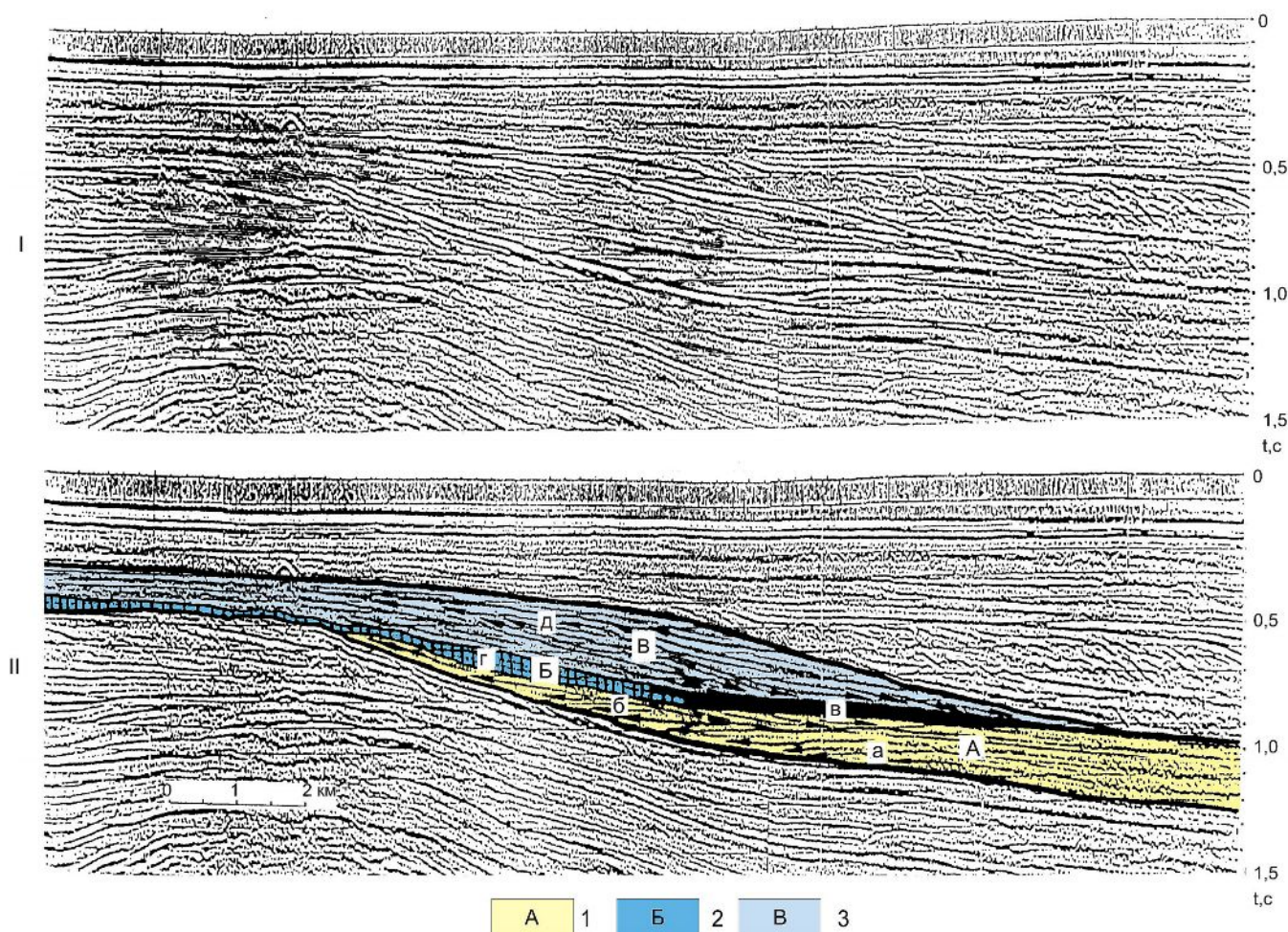
На примере готеривских отложений Приобского месторождения можно видеть насколько сложно секвенсное расчленение отложений. Отложения высокоуровневого (финального) тракта нижнего секвенса и осадки низкоуровневого тракта верхнего подчас неразличимы. Границы между ними часто затушеваны. Наиболее уверенная корреляция отложений достигается прослеживанием глинистых пачек срединных частей секвенсов, отвечающих периодами максимального затопления территории.

Исследователи построили кривую изменения относительного уровня моря, конфигурация которой по их мнению в значительной степени обусловлена эвстазией. Время формирования западно-сибирских неокомских секвенсов оценивается в 1-2 млн. лет. Волжско-неокомские отложения Западной Сибири являются ярким примером проградационного заполнения впадины, где секвенс-страиграфический анализ высоко результативен для определения седиментационной структуры бассейнового выполнения.

Кайнозойские секвенсы наиболее полно изучены в нефтегазоносных бассейнах Дальнего Востока /25/. Они определены пока лишь для верхней (олигоцен-неогеновой) части осадочного чехла, отвечающей периоду заполнения осадками глубоководных впадин островодужной окраины. Выраженность секвенсов улучшается вверх по разрезу по мере последовательного расширения шельфовой зоны; олигоцен-нижнемиоценовые секвенсы выделяются плохо, тогда как плиоценовые могут служить примерами типовых секвенсов (рис. 4). Мощность миоцен-плиоценовых секвенсов изменяется в широких пределах и достигает сотен метров, длительность их формирования – до 2 млн. лет.

Крупные осадочные бассейны кайнозоя Дальнего Востока располагаются в акваториях. Несмотря на высокое качество морской сейсморазведки, уверенное секвенс-стратиграфическое расчленение удастся провести лишь для отдельных интервалов чехла. Это связано с разной выраженностью структуры секвенсов в различных палеоландшафтах и зачастую господствующим влиянием на характер седиментации в пределах активных окраин тектонического фактора. К аналогичным выводам пришли геологи, занимающиеся секвенс-стратиграфией других регионов [Антипов, Бобылова, Варшавская, 2005]. Для более полного

анализа необходима не только детальность, но и увеличение обзора исследований, так как полную структуру секвенса можно наблюдать лишь на отдельных участках.



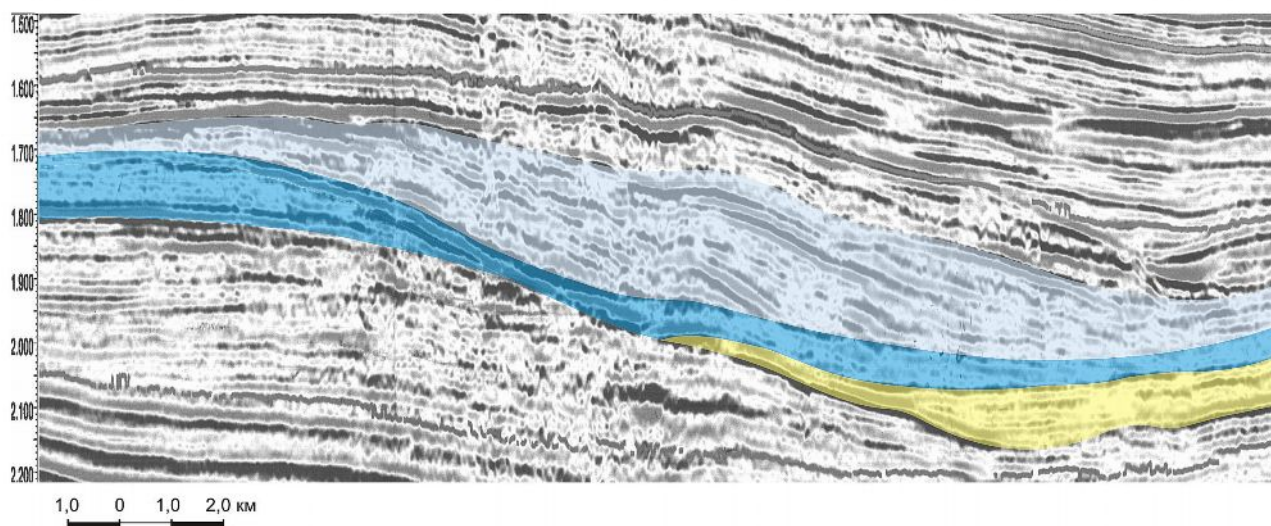
I – фрагмент временного сейсмического разреза, II – его интерпретация.

Тракты осадочных систем: А – низкого стояния уровня моря (ТНС), Б – трансгрессивный (ТТ), В – высокого стояния (ТВС), 1- осадки подводного конуса выноса, 2 – проградационная серия парасеквенсов ТНС, 3 – конденсированный покров, 4 – ретраградационная серия парасеквенсов и уровень максимального затопления территории, 5 – проградационная серия парасеквенсов ТВС

Рис. 4. Секвенс (цикл 3 порядка) первого типа. Плиоценовые отложения шельфа Северного Сахалина

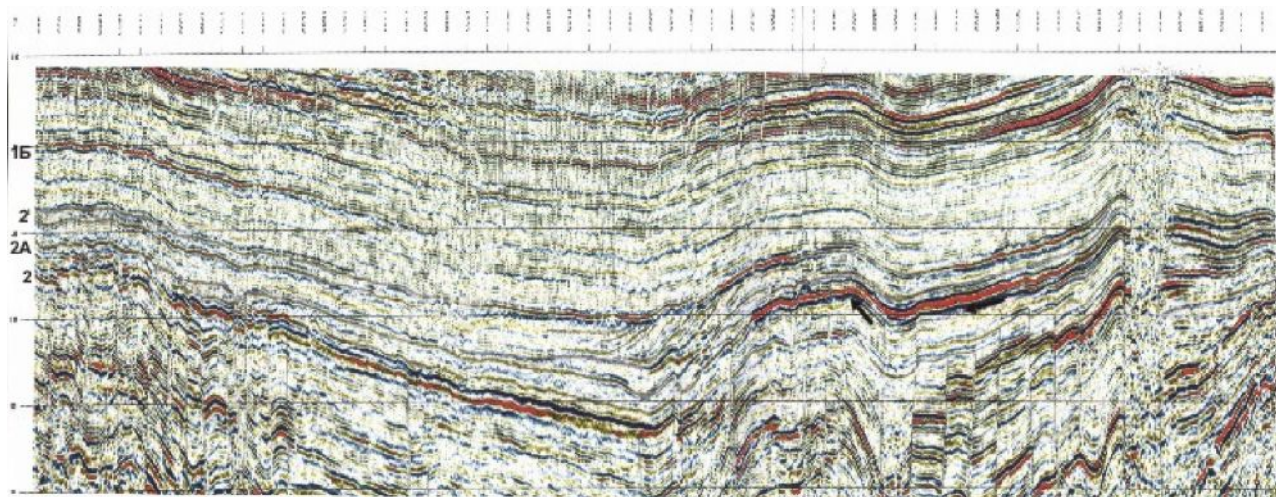
На рис. 5 - 7 представлены секвенсы из разных бассейнов российского Дальнего Востока. Можно видеть, что строение этих природных объектов соответствует модели секвенса (рис. 2). В приведенных примерах секвенсы содержат не только все системные тракты (низкого, высокого стояния уровня моря и трансгрессивный), но и элементы этих напластований. Значительный интерес представляют интервалы чехлов, где выделяется ряд секвенсов со смыкающимися границами. Их положение в разрезе сходно с таковыми в глобальной секвенс-стратиграфической шкале. Это дает возможность предполагать, что цикличность третьего порядка в регионе в значительной мере подчинена эвстатическим колебаниям. Об этом же свидетельствует и положение в разрезе наиболее ярких уровней

максимального затопления секвенсов, совпадающих обычно с региональными трансгрессиями и с уровнями максимального затопления в глобальной секвенс-стратиграфической шкале.



1 – тракт низкого стояния уровня моря; 2 – трансгрессивный тракт; 3 – тракт высокого стояния уровня моря

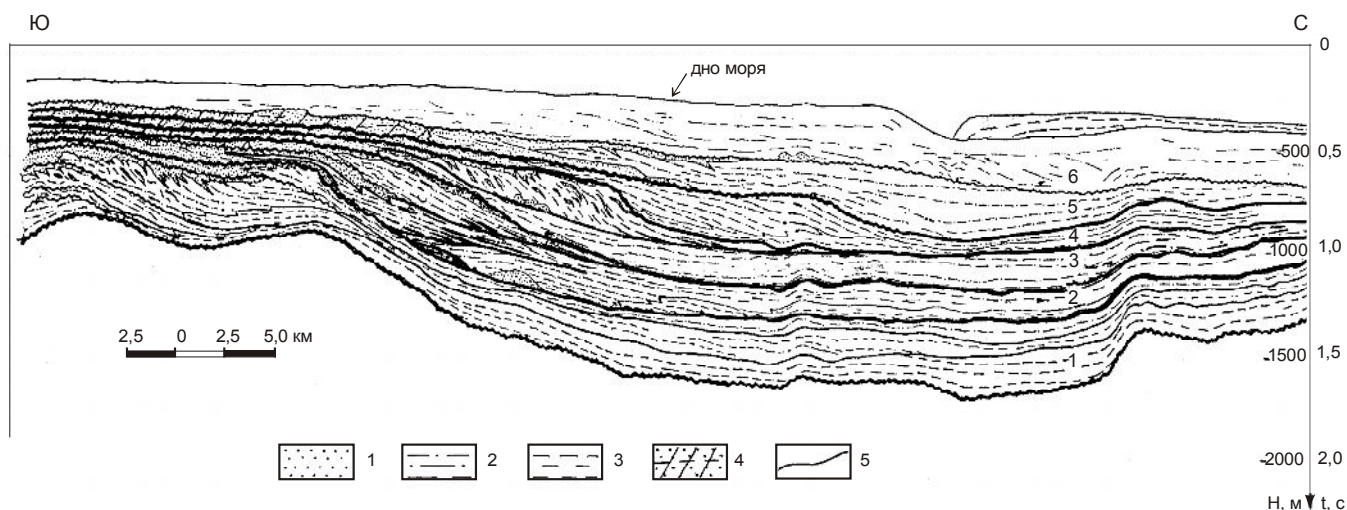
Рис. 5. Секвенс (цикл 3 порядка). Фрагмент временного сейсмического разреза (миоценовые отложения шельфа Охотского моря)



В палеошельфовой зоне секвенс «срезает» разные слои автаткульской свиты. Тракт высокого стояния уровня моря на склоне палеодепрессии сложен проградационными сигмоидами; трансгрессивный тракт в малых мощностях развит повсеместно, в палеодепрессии и шельфе приближаясь к основанию секвенса; тракт высокого стояния уровня моря развит на склоне и у подножия, утоняясь к центру депрессии.

Рис. 6. Секвенс (цикл 3 порядка). Фрагмент временного сейсмического разреза (миоценовые отложения шельфа Берингова моря), иллюстрирующий строение среднемиоценового секвенса (отражающие горизонты 2А-2')

Наблюдаемый сейсмический образ секвенс при знании секвенсной модели, как закономерной ячейки стратисферы, позволяет предсказать его вещественное содержание (рис. 7) Оpozнaвание трактов секвенсов дает ключ к построению седиментационных систем – сменяющихся фаций ландшафтов. По наблюдаемой внутренней структуре объекта определяется его вещественное содержание.



1-3 – преимущественно морские пески (1), алевриты (2), глины (3); 4 – флювиальные пески, алевриты, глины; 5 – границы секвенсов; цифры – номера секвенсов

Рис. 7. Седиментационная модель плиоценовых отложений шельфа Северного Сахалина по временному сейсмическому разрезу

Таким образом, секвенсы являются составным элементом любых осадочных чехлов. Их обнаружение и степень прослеживания зависят от возможностей применяемых методов исследования. Но везде эти закономерно структурированные стратоны являются элементарными ячейками надпородного уровня организации вещества, компоновка которых определяет стратификацию и формационный состав осадочно-породных бассейнов.

Выводы

- Концепция секвенсной стратиграфии, основанная на фундаментальных положениях стратиграфии и литологии, позволила с новых позиций взглянуть на строение осадочных чехлов. Секвенс-стратиграфические исследования нацелены на решение задач цикличности и литолого-фациальной изменчивости толщ. Они традиционны для геологии. В чем же отличие секвенс-стратиграфии как нового уровня исследований? Прежде всего в обнаружении и расшифровке внутренней структуры элементарной ячейки стратисферы, получившей название секвенс; в определении решающей роли в седиментационной цикличности эвстатических колебаний и приоритете «косослоистой» стратиграфии над «плоско-параллельной». Главным принципом системы компоновки крупных частей

осадочного чехла признается наступление и перекрытие секвенсов к депоцентрам тектонических депрессий.

- Несмотря на некоторые различия, в целом структура секвенса универсальна, она детерминирована характером дифференциации потока в циклично изменяющемся пространстве водного слоя. Фазам каждого цикла соответствуют латеральные ряды фаций (системные тракты) с определенным набором осадочно-породных элементов.

Событийная природа секвенса определяет его принадлежность к четко очерченному стратону с возрастом редко превышающим 2 млн. лет. Черета событий, складывая секвенсы, обуславливает общую стратиграфию чехла, а суммирование их вещественных элементов – формационные ряды.

- Строение, расположение и вещественный состав секвенсов, как и алгоритм их суммирования, специфичны в каждом регионе и заданы тектонической природой и типом литогенеза осадочных бассейнов.

- Формирование секвенсов обусловлено колебаниями уровня моря, характер которых зависит от сложного сочетания региональных (тектонических) и глобальных (эвстатических) факторов. Сравнение секвенсных шкал различных бассейнов показало [Hag, Hardenbol, Vail, 1988; Galloway, 1989], что происхождение подавляющего числа секвенсов связано с глобальным фактором. Это дает ключ к детальному расчленению осадочных чехлов на интервалы, датируемыми эвстатическими событиями.

Особенно наглядно эвстатические события выявляются для периодов высокоамплитудных изменений уровня Мирового океана, которые определяют срединные части эвстатических циклов 2 порядка (суперциклов). Уровням максимального затопления таких секвенсов соответствуют наиболее значительные трансгрессии.

- Структурная обусловленность строения секвенсов предопределяет возможность широкого применения секвенс-стратиграфии для изучения осадочных чехлов. Опознавание трактов секвенсов дает ключ к построению седиментационных систем – сменяющих друг друга фаций. Секвенсы – это элементарные стратоны. Их выделение и прослеживание по данным сейсморазведки и каротажа, а также по геологическим наблюдениям позволяет создать детальную схему стратиграфии, определить смену палеоландшафтов в узких временных интервалах и воссоздать эволюцию крупных частей осадочных бассейнов.

- Особое место секвенс-стратиграфия занимает в нефтяной геологии. Создатели секвенс-стратиграфии, геологи-нефтяники, рассматривают ее как эффективный инструмент изучения нефтегазоносных бассейнов. Высокие прогностические возможности метода

определяются возможностью создания седиментационных моделей и на этой основе предсказания положения и качества нефтегазовых коллекторов. Прогноз неструктурных ловушек и резервуаров в условиях резкой фациальной изменчивости отложений, и, особенно, в глубоководных турбидитах – это актуальная проблема, стоящая перед секвенс-стратиграфией.

• Итогом изучения нефтегазоносных бассейнов является создание моделей нефтегазовых (нафтидных) систем и на этой основе проведение оценки их углеводородного потенциала. Свойства таких систем в значительной мере определяются их внутренней структурой, обусловившей положение нефтематеринских свит и основных резервуарных толщ. В решении этих вопросов существенна роль секвенс-стратиграфии как научной дисциплины, ориентированной на определении седиментационной структуры осадочного бассейна.

Секвенс-стратиграфия внедряется во многие сферы геологии, так как она позволила выявлять важный элемент стратисферы – секвенс. Этот событийный стратон, из которого складываются осадочные чехлы, обладает только ему присущей седиментационной структурой, что дало возможности некоторым исследователям (84) именовать рассматриваемую область знаний «структурной седиментологией». Открываются реальные возможности рассматривать стратоны не как отвлеченные (корреляционные) понятия, а как отражение реального вещественного процесса и на новом уровне знаний решать проблему взаимоотношения циклических (стратиграфических) и вещественных (формационных) подразделений стратисферы.

Литература

Антипов М.П., Бобылова Е.Е., Варшавская И.Е. Роль секвенсной стратиграфии в решении вопросов палеогеографии // Биосфера-экосистема-биота в прошлом Земли: палеобиогеографические аспекты. - Труды ГИН РАН. - Вып. 516. -М.: Наука, 2005. – С.467-486.

Беляева Н.В., Корзун А.Л., Петрова Л.В. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы (в связи с формированием рифовых резервуаров). – СПб.: Наука, 1998. – 154 с.

Био- и секвенсстратиграфия нефтегазоносных бассейнов// Тезисы докладов 2 международного симпозиума. – СПб.: ВНИГРИ, 1997. – 104 с.

Вассоевич Н.Б. Слоистость в свете учения об осадочной дифференциации// Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1950. - № 5. - С. 95-115.

Вернадский В.И. Очерки геохимии. – М.: Наука, 1983. - 422 с.

Головкинский Н.А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна// Материалы для геологии России. Т. 1. - СПб., 1869. – С. 273 – 415.

Дмитриевский А.Н. Особенности использования системного подхода в геологии// Системный подход в геологии. - М., 1989. – С. 3 – 6.

Дронов А.В. Секвенс-стратиграфия ордовикского палеобассейна Балтоскандии. Автореферат на соискание уч.ст. доктора г.-м. наук. - С-Пб., 2000. - 32 с.

Заварзин Г.А. Индивидуализм и системный анализ – два подхода к эволюции// Природа. - 1999. - №1. - С. 23-34.

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 739 с.

Ильин А.С. Структурная седиментология – новое направление в изучении осадконакопления // Известия ВУЗов. Сер.: Геология и разведка. - 1991. - № 7. - С. 33-46.

Иностранцев А.А. Геологические исследования на севере России в 1869 и 1870 гг. - СПб., 1872. –179 с.

Казаненков В.А. Модель геологического строения и нефтеносность неокома Северного Приобья Западной Сибири: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геол. – минер. наук. – Новосибирск, 1999. – 24 с.

Карогодин Ю.Н. Введение в нефтяную литологию. - Новосибирск: Наука СО, 1990.- 240 с. - (Тр. ИГиГ СО АН СССР; Вып. 735).

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

Кацура А.В. Научное познание и системные закономерности// Системные исследования. - М., 1986. - С.37-41.

Колмогоров А.Н. Решение одной задачи из теории вероятностей, связанной с вопросом о механизме слоеобразования // Доклады АН СССР. - 1949. - Т. 65. - № 6. - С. 793-796.

Корреляция разнофациальных толщ при поисках нефти и газа / Грачевский М.М., Берлин Ю.М., Дубровский И.Т., Ульмишек Г.Ф. – М.: Недра, 1969. – 295 с.

Косыгин Ю.А. Основы тектоники. - М.: Недра, 1974. - 215 с.

Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. - М.: Мысль, 1978. - 367 с.

Кузьмин А.М. Слой и наслоение// Тр. Горно-геол. ин-та Зап.- Сиб. фил. АН СССР. - Новосибирск, 1950. – Вып. 11. - 99 с.

Леонов Г.П. Основы стратиграфии. - М.: Изд-во МГУ, 1973. - Т.1. - 530 с.; 1974. - Т. 2. – 486 с.

Лисицын А.П. Лавинная седиментация, изменение уровня океана, перерывы и пелагическое осадконакопление – глобальные закономерности// 27-й МГК: Докл. Т.3. Палеоокеанология. Секция кол. 03. –М., 1984. - С. 3-21.

Маргулис Л.С. Геологическая природа сейсмических отражающих границ// Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1988. - № 9. - С. 110-118.

Маргулис Л.С. Секвенс-стратиграфия как метод исследования седиментационной структуры и прогноза нефтегазоносности осадочно-породных бассейнов// Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов России.- СПб.: Недра, 2004.- С.15-29.

Мурдмаа И.О. Фации океанов. - М.: Наука, 1987. - 303 с.

Наливкин Д.В. Учение о фациях. – М. -Л.: Изд-во АН СССР, 1956. –Т.1.- 534 с.

Онищук Т.М., Наумов А.Л., Векслер Л.А. Корреляция продуктивных пластов нижнего мела в Среднеобской нефтегазоносной области// Геология нефти и газа. – 1977. - № 2. – С. 29 –31.

Осадочные бассейны: Методика изучения, строение и эволюция/ Под ред. Ю.Г. Леонова и Ю.А. Воложа. -Труды ГИН РАН. - Вып. 543. – М.: Научный мир, 2004. – 526 с.

Романовский С.И. Седиментологические основы литологии. - Л.: Недра, 1977. - 408с.

Сейсмическая стратиграфия: В 2-х частях. - М.: Мир, 1982.- 846 с.

Сейсмостратиграфия нефтегазоносных бассейнов России и стран СНГ// Тезисы докладов 1 международной конференции. – СПб.:ВНИГРИ, 1995.- 124 с.

Сейсмогеологическое изучение клиноформных отложений Среднего Приобья/ О.М. Мкртчян, И.Л. Гребнева, В.П.Игошкин и др.- М.: Наука, 1990. – 108 с.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. М.: Наука, 1978. - 320 с.

Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - Т. 1. - 212с.

Трофимук А.А., Карогодин Ю.Н. Общетеоретические и методологические вопросы основных направлений и задач исследования геоцикличности// Геоцикличность. – Новосибирск, 1976. - С. 9-15.

Хворова И.В. Флишевая и нижнемолассовая формация Южного Урала. - М., 1961. - 352 с. - (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 37).

Шатский Н.С. Избранные труды. - М.: Изд-во АН СССР, 1965. - Т.3. - 348 с.

Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. - М.: Научный мир, 1998. –144 с. - (Тр. ГИН РАН; Вып. 512).

Barrell rhythms and the measurements of geologic time// Bull. Geol. Soc. Amer.- 1917.- v. 28- p. 745-904.

Galloway W.E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units// AAPG Bull.- 1989.- v.73:- P. 125-142.

Hag B., Hardenbol J., Vail P. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change// Sea-level changes: an integrated approach.- Tulsa. - 1988.- P.71-108.

Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European Basins/ J. Hardenbol, J. Thierry, M. Farley and et al.// SEPM (Society of Sedimentary Geology) Special Publication.- 1998.- №60.-P.51-77.

Penious O.V., Karogodin Y.N., Ershov S.V., Sahagian D.L. Sequence stratigraphy, facies and sea level change of the Hauterivian productive complex, Priobskoe oil field (West Siberia)// AAPG Bull. – 1999. – v. 83. - № 6. – P. 972 – 989.

Sea-level changes: an integrated approach/ Ed.: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, Ch.G.C. Kendall at al. - Tulsa: Soc. Econ. Paleontolog. and Mineralog., 1988.- 407p.(Spec.Publ., №42).

Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concept of high-resolution correlation of time and facies/ J. C.Van Wagoner, R. M. Mitchum, K. M. Campion, V.D. Rahmanian.- Tulsa: AAPG, 1990.- 55 p. (AAPG Bull. Methods in Exploration Ser., № 7).

SEQUENCE STRATIGRAPHY IN STUDYING THE STRUCTURE OF SEDIMENTARY COVERS

Margulis L.S.

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St. Petersburg, Russia

ins@vnigri.spb.ru

It is shown that sequence stratigraphy is based on the fundamental conceptions of stratigraphy and lithology. The achievement of this new sphere of knowledge consists in discovering and deciphering the sedimentation structure of an elementary cell of over-rock level of sedimentary systems – sequence, in determining the decisive role of eustatic events in sedimentation cyclic recurrence and in the priority of “obliquely laminated” stratigraphy over “flat-parallel”. The hierarchy of a geological sedimentary system is proposed; the considerable opportunities of sequence stratigraphy in developing sedimentation models and in the forecast of oil-gas reservoirs are shown.

Key words: sequence stratigraphy, sedimentary covers, oil-gas basins, geological systems.

References

Antipov M.P., Bobylova E.E., Varshavskaya I.E. Role of sequence stratigraphy in solving the questions of paleogeography // Biosphere-ecosystem-biota in the past of the earth: paleobiogeographical aspects. Transactions of GIN RAN. – Issue 516. – М.: Nauka, 2005. – P.467-486.

Belyaeva N.V., Korzun A.L., Petrova L.V. Model of sedimentation of Frasnian-Tournaisian deposits in the north-east of the European platform (in connection with the formation of reef reservoirs). – SPb.: Nauka, 1998. – 154 p.

Bio- and sequence stratigraphy of oil-gas basins // Theses of reports of 2nd international symposium. – SPb.: VNIGRI, 1997. – 104 p.

Vassoevich N.B. Bedding in the light of studies on sedimentary differentiation // Proceedings of AN USSR. Geol. Ser.- 1950. - №5. – P.95-115.

Vernadsky V.I. Essays of geochemistry. – M.: Nauka, 1983. – 422 p.

Golovkinsky N.A. On the Permian formation in the central part of the Kamsko-Volzhsy basin // Materials for geology of Russia. Vol. 1. – SPb., 1869. P.273-415.

Dmitrievsky A.N. Peculiarities of using a systems approach in geology // Systems approach in geology. – M., 1989. – P. 3-6.

Dronov A.V. Sequence stratigraphy of the Ordovician paleobasin, Baltoscandia. Author's abstract of DSc dissertation. – SPb., 2000. – 32 p.

Zavarzin G.A. Individualism and systems analysis– two approaches to evolution // Priroda. – 1999. - №1. – P.23-24.

Zenkevich L.A. Biology of USSR Seas. – M.: Publishing house of AN USSR, 1963. – 739 p.

Ilin A.S. Structural sedimentology – new line in study of sedimentation // Proceedings of institutes of higher education. Ser.: Geology and exploration. – 1991. - №7. – P. 33-46.

Inostrantsev A.A. Geological investigations in the north of Russia in 1869 and 1870. – SPb., 1872. – 179 p.

Kazanenkov V.A. Model of geological structure and petroleum potential of the Neocomian, Northern Priobie, West Siberia. Author's abstract of Ph.D. dissertation. – Novosibirsk, 1999. – 24p.

Karogodin Yu.N. Introduction in oil lithmology. – Novosibirsk: Nauka SO, 1990. – 240 p.- (Transactions of IGI SO AN USSR; Issue 735).

Karogodin Yu.N. Methodological questions of lithmology and sequence stratigraphy // Geology, geophysics. – Vol. 37. – 1996. - №4. – P. 3-12.

Kacura A.V. Scientific knowledge and systems regularities // Systems researches. – M., 1986. – P. 37-41.

Kolmogorov A.N. Solving one task from theory of probability connected with the question about mechanism of forming layers // Reports of AN USSR. – 1949. – Vol. 65. - №6. P. 793-796.

Correlation of different facies strata in searches for oil and gas / Grachevsky M.M., Berlin Yu.M., Dubrovsky I.T., Ulmishchek G.F. – M.: Nedra, 1969. – 295 p.

Kosygin Yu.A. Foundations of tectonics. – M.: Nedra, 1974. – 215 p.

Krut I.V. Introduction in general theory of the earth. Levels of organizing geosystems. – M.: Mysl, 1978. – 367 p.

Kuzmin A.M. Bed and bedding // Transactions of Gorno-geol. Inst. of West Sib. Branch of AN USSR. – Novosibirsk, 1950. – Issue 11. – 99 p.

Leonov G.P. Foundations of stratigraphy. – M.: Publishing house of MGU, 1973. – Vol. 1. – 530 p.; 1974. – Vol. 2. – 486 p.

Lisicin A.P. Avalanche sedimentation, change of ocean level, breaks and pelagic sedimentation – global regularities // 27 IGC: Reports. Vol.3. Paleooceanology. Section 03. – M., 1984. – P. 3-21.

Margulis L.S. Geological nature of seismic reflection boundaries // Proceedings of AN USSR. Geol. Ser.- 1988. - №9. – P.110-118.

Margulis L.S. Sequence stratigraphy as a method of investigation of sedimentation structure and forecast of petroleum potential of sedimentary basins // Stratigraphy of oil-gas basins, Russia. – SPb.: Nedra, 2004. – P. 15-29.

Murdmaa I.O. Facies of oceans. – M.: Nauka, 1987. – 303 p.

- Nalivkin D.V.* Studies on facies. – M.-L.: Publishing house of AN USSR, 1956. – Vol. 1. – 534 p.
- Onischuk T.M., Naumov A.L., Veksler L.A.* Correlation of Lower Cretaceous productive beds in the Sredneobsk oil-gas region // *Geology of oil and gas*. – 1977. - №2. – P. 29-31.
- Sedimentary basins: procedure of study; structure and evolution. Ed. Yu.G. Leonov, Yu.A. Volozha. – Transactions of GIN RAN. – Issue 543. – M.: Nauchny mir, 2004. – 526 p.
- Romanovsky S.I.* Sedimentology foundations of lithology. – L.: Nedra, 1977. – 408 p.
- Seismic stratigraphy: In 2 parts. – M.: Mir, 1982. – 846 p.
- Seismic stratigraphy of oil-gas basins of Russia and FSU countries // Theses of reports of 1st international conference. – SPb.: VNIGRI, 1995. – 124 p.
- Seismic-geological study of clinoform deposits, Srednee Priobie / O.M. Mkrtchyan, I.L. Grebneva, V.P. Igoshkin and others. – M.: Nauka, 1990. – 108 p.
- Sochava V.B.* Introduction in studies on geosystems. M.: Nauka, 1978. – 320 p.
- Strakhov N.M.* Foundations of theory of lithogenesis. – M.: Publishing house of AN USSR, 1962. – Vol. 1. – 212 p.
- Trofimuk A.A., Karogodin Yu.N.* General theoretic and methodological questions of major lines and tasks of geocyclic recurrence research // *Geocyclic recurrence*. – Novosibirsk, 1976. – P. 9-15.
- Khvorova I.V.* Flysch and lower molassa formation of South Urals. – M., 1961. – 352 p. – (Transactions of GIN AN USSR; Issue 37).
- Shatsky N.S.* Selected transactions. – M.: Publishing house of AN USSR, 1965. – Vol. 3. - 348 p.
- Shlezinger A.E.* Regional seismic stratigraphy. – M.: Nauchny mir, 1998. – 144 p. – (Transactions of GIN RAN; Issue 512).
- Barrell rhythms and the measurements of geologic time// *Bull. Geol. Soc. Amer.*- 1917.- v. 28- p. 745-904.
- Galloway W.E.* Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units// *AAPG Bull.*- 1989.- v.73:- P. 125-142.
- Hag B., Hardenbol J., Vail P.* Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change// *Sea-level changes: an integrated approach*.- Tulsa. - 1988.- P.71-108.
- Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European Basins/ J. Hardenbol, J. Thierry, M. Farley and et al.// *SEPM (Society of Sedimentary Geology) Special Publication*.- 1998.- №60.-P.51-77.
- Penious O.V., Karogodin Y.N., Ershov S.V., Sahagian D.L.* Sequence stratigraphy, facies and sea level change of the Hauterivian productive complex, Priobskoe oil field (West Siberia)// *AAPG Bull.* – 1999. – v. 83. - № 6. – P. 972 – 989.
- Sea-level changes: an integrated approach/ Ed.: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, Ch.G.C. Kendall at al. - Tulsa: Soc. Econ. Paleontolog. and Mineralog., 1988.- 407p.(Spec.Publ., №42).
- Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concept of high-resolution correlation of time and facies/ J. C.Van Wagoner, R. M. Mitchum, K. M. Campion, V.D. Rahmanian.- Tulsa: AAPG, 1990.- 55 p. (AAPG Bull. Methods in Exploration Ser., № 7).