

внутри пластов с разными фильтрационно-емкостными свойствами пород-коллекторов. Изучение характеристики порового пространства с использованием капилляриметрических исследований ядра позволяет детально описать распределение флюидов в пласте с точки зрения капиллярно-гравитаци-

онных сил. Методика описания пласта с использования средних радиусов пор, характерных для определенных петрофизических классов, позволяет выявить зоны капиллярно-удержанных флюидов, связанные с неоднородностью распределения фильтрационно-емкостных изучаемых формаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kazeem A.L., Mike O.O. A robust Approach to flow unit zonation // SPE paper 98830, presented at the 29th Annual SPE International Technical Conference and Exhibition in Abuja. – August 1–3. – 2005. – Nigeria, Abuja, 2005. – 15 p.
2. Basoi R.E., Shahin N., Dawood S.E. Reservoir rock typing from crest to flank is there a link // SPE paper 117728, presented at the 2008 Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. – November 3–6. – 2008. – UAE, Abu Dhabi, 2005. – 22 p.
3. Niab D., Dinaldson E.C. Petrophysics. – Oxford: Elsevier, 2004. – 926 p.
4. Белозёров Б.В. Изучение возможностей геофизических методов в связи с геологическим моделированием месторождений углеводородов // Записки Горного Института. – 2008. – Т. 174. – С. 17–19.

Поступила 20.04.2010 г.

УДК 553:551.862(571.16)

СИСТЕМАТИКА И ИЕРАРХИЯ ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ КАК ОСНОВА ПАЛЕОСЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О.С. Чернова

Томский политехнический университет
E-mail: chernovaos@hw.tpu.ru

Рассмотрена проблема идентификации и ранжирования обстановок седиментации, фациальных ассоциаций и их составных частей – литогенетических типов пород. В качестве основы палеоседиментологического моделирования предложена разработанная автором систематика терригенных природных резервуаров, впервые увязывающая разномасштабные седиментологические объекты в единую иерархическую систему. Уровни ранжирования иерархии составлены в результате обобщения мировых знаний и опыта в осадочной геологии, седиментологического изучения и систематизации, данных ядра глубоких скважин, характеризующего отложения юрской субугленосной формации краевой юго-восточной части Западно-Сибирского бассейна седиментации.

Ключевые слова:

Иерархия, классификация, седиментологические единицы, фации, обстановки седиментации, литогенетические типы.

Key words:

Hierarchy, classification, sedimentological unit, facies, sedimentary environments, lithogenetic types.

В настоящее время в России и за рубежом заметно активизировались работы в области седиментологии природных резервуаров. В современную практику изучения нефтегазоносных осадочных толщ давно и прочно внедрены исследования генетической и историко-геологической направленности, позволяющие определять условия седиментации и закономерности распространения осадочных комплексов, способных генерировать и удерживать углеводороды. Поэтому важнейшей задачей осадочной нефтегазовой геологии в ее прикладном значении является изучение процесса седиментогенеза во времени и пространстве в целях успешного прогнозирования размеров и форм природных резервуаров нефти и газа, что особенно важно при построении корректных трехмерных геологических моделей.

Основой для палеоседиментологического моделирования служат представления о том, что морфология и фильтрационно-емкостные параметры

природных резервуаров в значительной степени предопределены физико-географическими обстановками древних сред седиментации, тесно связанными с тектоническим планом территории в ту или иную геологическую эпоху, а также направленностью и интенсивностью вторичных преобразований пород.

Проблема идентификации и ранжирования обстановок осадконакопления и слагающих их фациальных комплексов на протяжении многих лет рассматривалась в многочисленных опубликованных работах многих авторов и целых авторских коллективов. Проведенными исследованиями установлен ряд условий, значительно влияющих на формирование и размещение залежей углеводородов в осадочном пространстве. Большинство авторов наиболее важная роль отведена геоморфологическому, литолого-стратиграфическому и палеогеографическому факторам, определяющим все ба-

зовые характеристики конечного продукта системы осадконакопления.

Основой палеоседиментологического моделирования в названном аспекте являются исследования седиментологические, позволяющие выявлять и изучать разноранговые осадочные элементы природных терригенных систем, формирующиеся в результате определенных природных процессов.

Для успешного решения проблемы систематизирования разномасштабных седиментационных единиц в связи с популяризацией детализации седиментологических моделей необходимым представляется, *во-первых*, одинаковое понимание исследователями в области седиментологии природных резервуаров собственно предмета исследования – седиментологических объектов разного ранга, *во-вторых*, уверенное владение специальной седиментологической номенклатурой, термины которой трактуются зачастую произвольно, а посему приобретают неоднозначный смысл. И, *в третьих* – назревшая существенная необходимость решения вопросов типизации обстановок седиментаций, фаций и слагающих их литогенетических типов, на единой методической основе.

Многочисленная отечественная и англоязычная геологическая литература содержит обширный обобщенный материал по разнообразным рабочим классификациям обстановок осадконакопления, фаций и типов пород в различных природных средах, построенных в зависимости от потребностей авторов. Единая систематика, представляющая собой иерархическую структуру, увязывающая разномасштабные седиментологические объекты (*седиментологические единицы*) в строгую иерархическую последовательность, на сегодняшний день не существует. Отсюда и часто возникающие существенные разногласия, и терминологические затруднения при обращении в фациальных исследованиях к объектам разного седиментационного уровня.

Проблема определения и объединения в различные группы разномасштабных седиментационных данных возникает уже на первых стадиях исследования – при описании и выделении литогенетических типов пород. Впоследствии, при определении фациальных комплексов, слагающих, в свою очередь, крупные седиментационные циклы, отражающие древние ландшафтные характеристики, эта проблема только усугубляется.

При анализе и прогнозировании древних условий седиментации исследователь сталкивается с неизбежной необходимостью увязки многомерных деталей внутренней архитектуры природных пространственно-временных систем. В ископаемом состоянии черты строения былой обстановки седиментации, овеществленные в каменном материале (керна скважин), не видны в полном объеме и значительно затусованы многомиллионной историей вторичных преобразований осадочного материала, кардинально изменивших первоначальный облик пород. Поэтому восстановление древних условий осадконакопления по керну скважин является из-

начально достаточно сложной геологической задачей. Для грамотного и корректного ее решения требуется знание и понимание:

- процессов осадконакопления и результатов их протекания (*какой тип осадка формируется при действии определенного осадочного процесса*);
- механизма действия осадочных процессов;
- параметров структуры осадочного материала;
- основ петрографии (*вещественный состав пород*) и геохимии (*условия протекания основных диагенетических процессов, приводимых к неизбежным видоизменениям природных резервуаров на микро- и макроуровнях*);
- основ палеонтологии и исторической геологии (*представление об основных группах организмов и условиях их обитания*).

Также необходимо иметь представление об иерархии основных седиментационных объектов, знать их парагенезы при трансгрессивном и регрессивном развитии территории, иметь объективное понимание современных процессов седиментогенеза и представление о параметрах современных обстановок седиментации.

При работе с керновым материалом важно понимать разницу между современными и ископаемыми фациальными комплексами; знать типовые фациальные последовательности, как в современных, так и в древних отложениях; владеть текстурным анализом (*иметь опыт в интерпретации текстур и современных и литифицированных толщ*); знать идентификационные критерии для каждой обстановки седиментации.

На протяжении вековой истории геологического изучения осадочных терригенных последовательностей задача ранжирования разномасштабных объектов рассматривалась многими авторами, предлагающими различные принципы их группирования. До настоящего момента ее решение, удовлетворяющее в большей или меньшей степени большинство исследователей, пока не найдено. Тем не менее, при седиментологических и фациально-циклических исследованиях осадочных толщ стандартно используется единый концептуальный подход к интерпретации древних систем осадконакопления, основанный на изучении и идентификации генетических признаков породы, указывающих на механизмы и условия ее формирования. При исследованиях подобного плана представляется важным иметь иерархическую схему, отражающую всю многогранность природных резервуаров.

При создании типовых классификаций именно многофакторность природных систем, ставит перед специалистами неизбежный вопрос – сколько и какие именно параметры принять в качестве основных критериев разбиения? Желательными признаками любой классификации являются:

- описательные параметры, несущие генетическое значение и поддающиеся объективному определению;
- классы, выделенные на основе наглядных параметров, имеющие четкие определяемые коли-

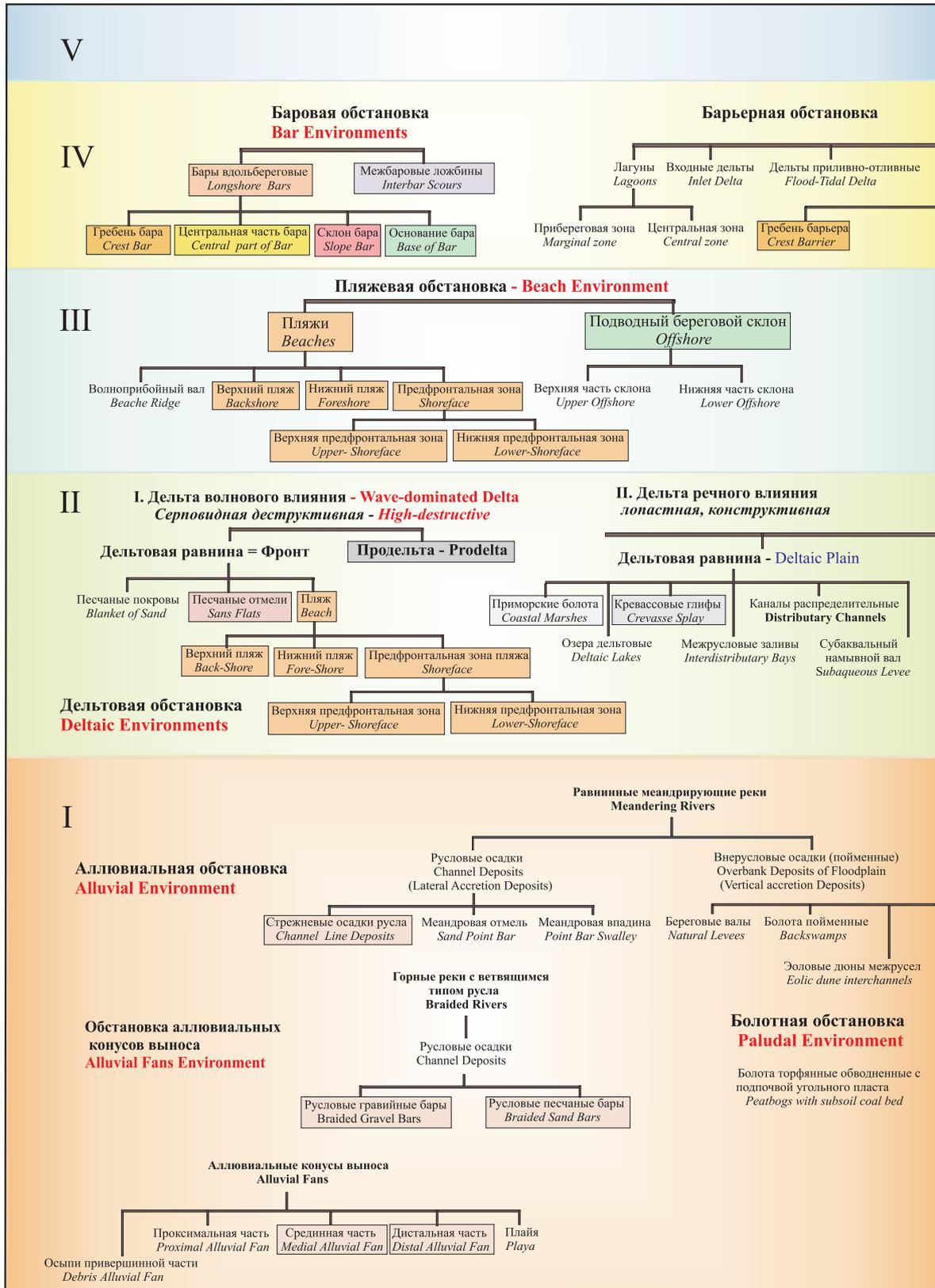
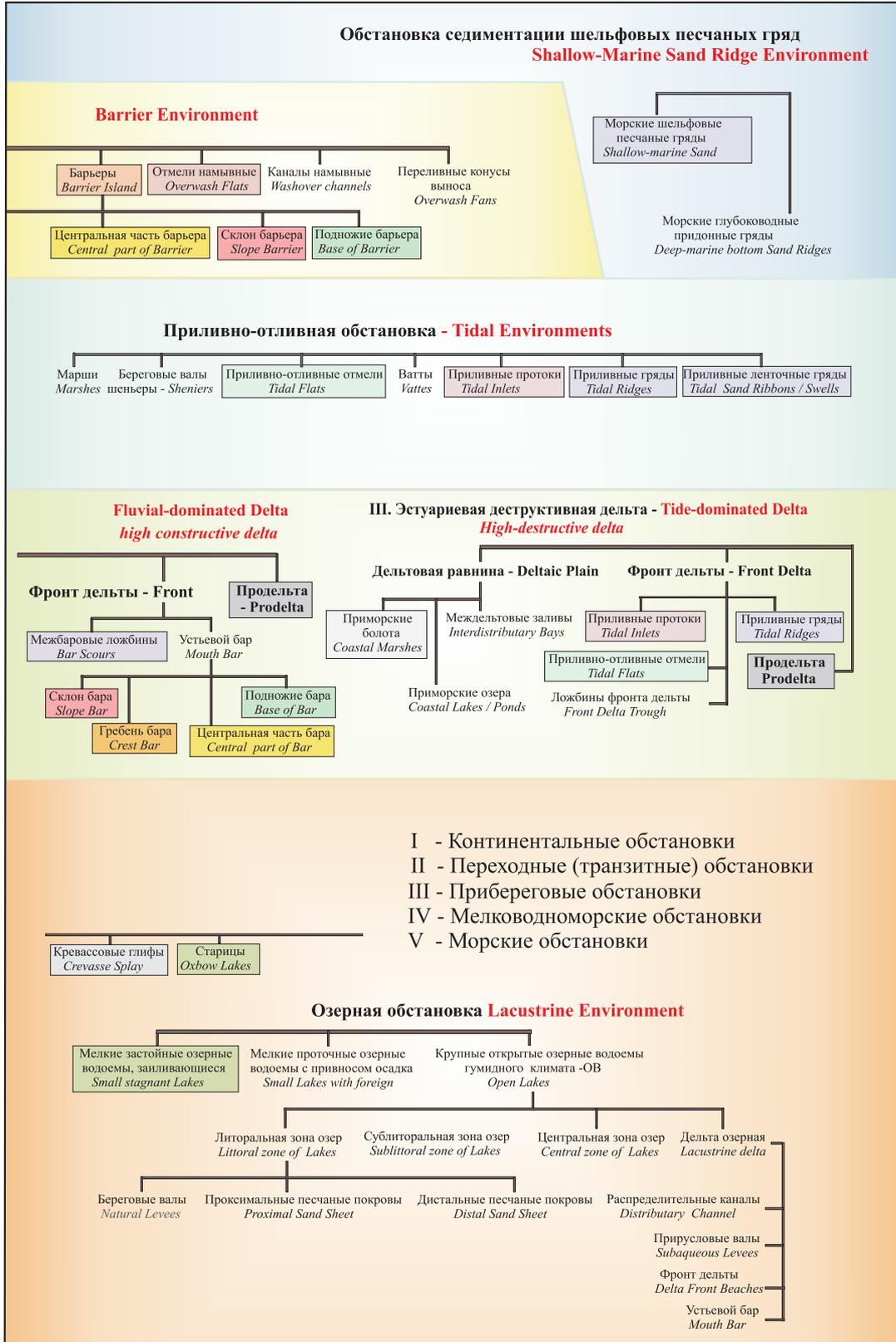


Рисунок. Систематика терригенных седиментационных объектов областей гумидного климата



ественные границы, основанные на естественных группировках, и названия, не нуждающихся в дополнительных терминологических объяснениях.

Специалисты нефтяного инжиниринга имеют дело с продуктами древних седиментационных систем — с конкретными геологическими телами, представляющими собой геометрически объемные, пространственно-временные системы, имеющие определенную ориентацию в пространстве, определенную стратиграфическую приуроченность и определенную морфологическую форму. Все пространственно-временные системы (ископаемые природные резервуары) существуют в природе в строгой иерархической взаимосвязи друг с другом. Зная эти взаимосвязи (цепочки) и закономерности их развития, можно предсказывать появление тех или иных фациальных последовательностей (*ассоциаций фаций*) и распознавать древние условия седиментации, овегешественные в породе, т. е. решать обратную задачу геологии. Для палеоседиментологического моделирования также крайне важно уметь определять главные седиментационные тренды осадочного материала, находящиеся в тесной зависимости от геоморфологической обстановки.

Таким образом, природные резервуары можно рассматривать в качестве ископаемых палеоморфоструктурных форм, обладающих определенными размерами, мощностью, морфологией внутреннего строения, характером контактов с вмещающими толщами. Все эти параметры закладываются средой седиментации и соответственно напрямую связаны с геоморфологическими и динамическими условиями.

Рассматриваемая иерархическая структура разработана в результате обобщения мирового опыта изучения древних осадочных последовательностей, предварительной работы в области систематизации англо- и русскоязычной седиментологической номенклатуры и многолетних литолого-фациальных и палеогеографических исследований юрских терригенных отложений юго-востока Западной Сибири.

В качестве наиболее действенного количественного инструмента ранжирования объекта исследования (обстановок осадконакопления и производимых ими осадочных тел, описываемых большим количеством характеристик) использован кластерный анализ, позволяющий разбить множества исследуемых объектов и признаков на однородные кластеры (*скоплений информации*). Это позволило решить задачу структурирования большого массива разнородных геологических данных не по одному параметру, а по целому набору генетических признаков. В отличие от большинства методов математической статистики анализ кластеров не ограничивает вид рассматриваемых объектов, а позволяет рассматривать исходные данные практически произвольной природы. Состав и количество кластеров в создаваемой иерархической модели зависит от выбираемых критериев разбиения [1, 2].

Систематика седиментологических объектов построена по иерархическому принципу, включает в себя 5 таксономических рангов на параметрах, взаимоисключающих друг друга в разных классах. Каждый параметр может быть объективно определен, идентифицирован и несет однозначное значение. В качестве критериев разработанной иерархической структуры приняты: место осадения терригенного материала и формы его накопления (*геоморфологический признак*) и позиция литифицированного осадка в типовом профиле обстановки седиментации, рисунок.

Для создания иерархической схемы использован метод дендрограммы, основанный на идее графического изображения результатов процесса последовательного группирования выделяемых седиментационных объектов в терминах матрицы расстояний или сходства [1, 3]. Таким образом, систематика представляет собой вложенную группировку объектов, изменяющуюся на различных уровнях иерархии. При построении дендрограммы использованы иерархические алгоритмы, в которых число дивизимных (делимых) кластеров возрастает по мере рассмотрения каждой группы обстановок седиментации. В результате образуется последовательность расщепления групп литогенетических типов, строго определенных для каждой фации. Наиболее актуально применение такой иерархической структуры при построении трехмерных цифровых геологических моделей нефтяных и газовых месторождений [1].

В качестве основных седиментационных объектов рассмотрены: «*обстановка седиментации*», «*макрофация*», «*ассоциация фаций*», «*фация*», «*литогенетический тип*», «*иерархический ранг*», трактуемые различными авторами неоднозначно как в современной геологии, так и применительно к древним ископаемым обстановкам осадконакопления. Содержание исходных понятий, принятых в классификации, определено следующим образом.

Под *обстановкой седиментации* понимается древний ландшафт, включающий в себя физико-химические условия формирования осадка, характерные для области сноса, области седиментации и области отложения.

Под *фацией (facies)* понимается конечный (*конкретный*) продукт определенного геологического процесса, действующего на определенной территории, обладающей присущими ей геоморфологическими особенностями, т. е. реальное геологическое тело, с трехмерными характеристиками, отложенное в пространстве аккумуляции в определенное геологическое время.

Под *литогенетическим типом (lithogenetic type)* осадка понимается литологический тип породы, обладающий совокупностью генетических признаков, обусловленных процессом ее формирования (в англоязычной терминологии — *lithofacies*). В качестве *иерархического ранга* рассмотрен условный уровень, присвоенный определенной седиментоло-

логической единице в систематике, при построении иерархических взаимосвязей седиментационных объектов.

В соответствии с данным подходом обстановки седиментации, формирующие основные природные резервуары углеводородов на протяжении юрской эпохи осадконакопления в пределах краевой юго-восточной части Западно-Сибирского осадочного бассейна, традиционно разбиты на пять крупнейших групп, включающих в себя большинство остальных группировок. В каждой группе выделен типовой ряд макрофаций, состоящий из фациальных ассоциаций следующих обстановок осадконакопления:

I. Континентальные (*continental environments*):

- аллювиальные конусы выноса (*alluvial fan environment*);
- флювиальные (*fluvial environment*);
- озерные (*lacustrine environment*);
- болотные (*paludal environment*).

II. Переходные (*transitional environment*):

- дельтовые (*deltaic environment*);
- эстуариевые (*estuary environment*).

III. Прибереговые (*nearshore environments*):

- приливно-отливные (*tidal environment*);
- пляжевые (*beaches environment*).

IV. Мелководно-морские (*shallow-marine environment*):

- песчаные бары (*sand bars environment*);
- барьеры и лагуны (*barrier and lagoon environment*).

VI. Морские (*marine environment*):

- шельфовые песчаные гряды (*shallow-marine sand ridges*).

В соответствии с обстановкой седиментации рассмотрены ассоциации фаций, представленные определенным набором литогенетических типов пород. Индексация литогенетических типов и названия фациям даны по методике Л.Н. Ботвинкиной и В.П. Алексеева [4]. Для облегчения понимания и ликвидации противоречий в представленной ниже схеме ранжирования выделенных объектов приведены русские термины и их англоязычные аналоги. Седиментационные единицы, имеющие близкие идентификационные критерии, выделены одинаковым цветом. При их определении в керне скважин возможны определенные трудности, связанные с неоднозначностью выводов. В представленную систематику не вошли эоловые, леднико-

вые и вулканогенные обстановки осадконакопления, как не характерные для рассматриваемой климатической зоны юрского седиментогенеза, но для которых на аналогичной основе может быть создана самостоятельная схема, рисунок.

Разработанная систематика седиментологических объектов, слагающих природные резервуары областей гумидного климата, отображает сложную иерархию закономерно чередующихся литогенетических типов пород, формирующих наборы фациальных ассоциаций определенных терригенных обстановок седиментации. Соответственно, предлагаемая иерархия позволяет проводить седиментологические реконструкции в рамках определенных систем осадконакопления, представленных типовыми наборами природных резервуаров. Каждый из них представляет собой циклически-построенную пространственно-временную систему, сформированную при определенном геотектоническом режиме и характеризующуюся набором определенных литогенетических типов пород, ограниченных рамками единого литоцикла и обладающих рядом первичных генетических признаков. Для каждой описанной обстановки седиментации выявлены диагностические критерии, позволяющие осуществлять генетическую идентификацию древних осадочных комплексов терригенного седиментогенеза.

В варьированности низших объектов систематики (*литогенетических типов пород*) в пределах различных рангов отражено главное свойство природных систем — ее эмерджентность: не существует строгих однозначных границ между равноуровневыми седиментационными объектами (фациями, их ассоциациями и обстановками седиментации). Всегда присутствует система переходов в пределах одного иерархического уровня, что и было определено работами Л.Н. Ботвинкиной, В.П. Алексеева, Р.Ч. Селли, Г.-Э. Рейнека и И.Б. Сингха [4–6].

Разработанная систематика седиментологических объектов может быть полезна для специалистов-нефтяников, изучающих древние фациальные последовательности, в которых морфология резервуаров практически не сохраняется в первоначальном виде. Она не охватывает всевозможные выделяемые природные объекты, но может служить предметом обсуждения в определенных геологических кругах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева и др. — М.: Недра, 1987. — 335 с.
2. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. — Berlin: Springer, 2001. — 250 p. ISBN 0-387-95284-5.
3. Чернова О.С., Захарова А.А. К вопросу о классификации обстановок осадконакопления, фаций, генетических типов пород и осадочных текстур с позиций кластерного анализа // Сб. научн. тр.: Геологическое строение и нефтегазоносность отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). — Новосибирск, 2006. — С. 175–178.
4. Ботвинкина Л.Н., Алексеев В.П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения — Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. — 336 с.
5. Selley R.Ch. Applied Sedimentology. — London: Academic Press, 2000. — 520 p.
6. Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления. — М.: Недра, 1981. — 439 с.

Поступила 05.04.2010 г.