

во-оценочных работ на стадиях выявления и подготовки объектов к поисковому бурению, а также при количественной оценке прогнозных ресурсов УВ.

Л и т е р а т у р а

1. Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа Волго-Уральской области [Текст]: [В 8 т.] /М-во нефт. пром-сти. АН СССР. Ин-т геологии и разраб. горючих ископаемых. Волж. отд-ние. – Москва: Недра, 1973–1979. Т. 5: Куйбышевское Поволжье [Текст] / [Авт. С. Я. Вайнбаум, М. И. Зайдельсон, Н. А. Копрова [и др.]. – 1973. – 295 с.
2. Воробьев В. Я. Информационность методов прогнозирования платформенных структур. – Л.: Недра, 1991. – 272 с.
3. Жузе Т. П. Миграция углеводородов в осадочных породах. – М.: Недра, 1986. – 188 с.
4. Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. – М.: ВНИГНИ, 2000. – 82 с.
5. Методические указания по количественной оценке прогнозных ресурсов нефти, газа и конденсата. – М.: ВНИГНИ, 1983. – 215 с.
6. Милешина А. Г., Калинин М. К., Сафонова Г. И. Изменение нефтей при фильтрации через породы. – М.: Недра, 1983. – 175 с.
7. Неручев С. Г. и др. Справочник по геохимии нефти и газа /под ред. С. Г. Неручева. – СПб.: Недра, 1998. – 567 с.
8. Орешкин И. В. Бассейновое моделирование: история создания, методология, практические результаты //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2001. – Вып. 28. – с. 7–10.
9. Шебалдин В. П. Тектоника Саратовской области. – Саратов: ОАО «Саратовнефтегеофизика», 2008. – 60 с.

УДК 550.8.05:551.7.022

К МЕТОДИКЕ ПОСТРОЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

© 2016 г. В. Н. Староверов

АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

В последние десятилетия седиментационное моделирование стало неотъемлемой частью фациальных и палеогеографических исследований. Специфика процессов терригенного и карбонатного осадконакопления обуславливает построение двух самостоятельных вариантов седиментационных моделей. Основная цель моделирования заключается в реконструкции палеобстановок и прогнозе распределения фаций. То есть выступает в качестве основного инструмента для построения геологически корректной фациальной модели осадочных комплексов высокой точности.

При анализе закономерностей процесса осадконакопления с различной степенью детальности могут быть оценены следующие седиментационные параметры.

1) Поступление и транспортировка материала (скорость и тип привноса осадочного материала, состав аллотигенных компонентов, примесь из тафрогенных источников, количественная и качественная характеристика биофильных элементов.

2) Аккумуляция, в частности уточнение таких деталей, как тип процесса (площадная, локальная, ритмичная); его интенсивность – гидравлический режим (скорость,

соотношение с эрозией, баланс между поступающим материалом и амплитудой прогибания).

3) Факторы перемещения вещества (течения, волнения, штормовые и гравитационные процессы).

4) Перерывы в осадконакоплении, выяснение их причин (неотложение, размыв, конденсация); типизация (локальные диаастемы меж- и внутрислоевые, региональные с линейным характером распространения – эрозионно-тектонические, региональные, площадные); оценка масштабов (длительность и глубина стратиграфического уничтожения).

5) Взаимодействие в системе «органическое вещество – осадок» (биофильные элементы, величина $C_{орг.}$, палеоценозы – соотношение бентосных и планктонных форм, количественный и качественный состав танатоценозов, сохранность, сортировка, размеры форменных компонентов, соотношение зрелых и юных особей, комплексы ихнофоссилий).

6) Барьеры, ограничивающие тот или иной тип осадконакопления, – морфологические, геохимические (минеральные и биогенные индикаторы окислительной и восстановительной среды), гипсометрические; неоднородность температурно-плотностной стратификации вод.

7) Фациальные условия (глубины, соотношение с базисом действия волн, приуроченность к фотической зоне, соленость, температура, геохимическая характеристика придонных вод).

Из перечисленных параметров вытекает перечень задач, которые могут быть решены в процессе седиментационного моделирования: визуализация литостратиграфического строения региона, отдельных тектонических структур или конкретных разведочных площадей; выявление основных трендов (векторов) литологической изменчивости; оценка масштабов внутрен-

ней неоднородности объектов (пластов, продуктивных комплексов, стратиграфических горизонтов или/и подъярусов). Концептуальное значение перечисленных задач заключается в постепенном движении от неизвестного строения анализируемого объекта к известной теоретической модели.

В нашем понятии модель – это физическая, графическая или математическая, одно-, двух-, трехмерная конструкция, которая позволяет устанавливать зависимости между анализируемыми параметрами изучаемого объекта [3, 4]. Седиментационное моделирование является стадийным процессом и осуществляется в несколько этапов.

1. *Сбор первичной геолого-геофизической информации* (геологической, литологической, палеонтологической, геофизической), как фондовой, так и полученной в процессе исследований новых геологических объектов.

2. *Построение частных седиментационных колонок* (табл.), которые представляют собой индивидуальные одномерные модели и состоят по каждой скважине для всех выбранных стратиграфических подразделений. Этот прием позволяет провести компактную визуализацию параметров и тип распределения, но в то же время отражает важные детали разнообразных седиментационных процессов. В настоящее время в нефтегазовой геологии значительно шире распространены фациальные исследования, нежели седиментационные. Однако фациальный анализ по ряду причин представляет собой довольно субъективный инструмент интерпретации исходных данных для выводов об условиях осадконакопления (неоднозначна трактовка самого термина «фация» – распространена ситуация, при которой палеогеографические карты называют фациальными; огромное значение имеет опыт и квалифи-

Таблица

Макет седиментационной колонки

№ образцы	Интервал отбора, м	Структура								другие признаки	Минералы		Текстура	Диастемы	Органические остатки	Ихтиофоссилии	Условия оседко-накопления
		пелитовая	двепри-пистая	тонко-зернистая	мелко-зернистая	средне-зернистая	крупно-зернистая	гравелистая	акцес-сорные		акцес-сорные						
1	3793-3807	■													УРО	Ривулис Циррида	булавный ежегодно мелководный песчаный
2		■			■					коричневая серебряная	пирит	породистая, зернистая					
3		■			■												
4		■			■											УРО, рыба	Зоофитос Амфинода
5		■			■					белая зернистая							
6		■			■								гравелистая			протисты	
7		■			■	■				окатанные и угловатые песчинки				аккумуля			Skolites
8		■			■	■	■			песчинки глинистые				аккумуля			
9		■			■					глинистая							Зоофитос
10		■			■												Зоофитос
11		■			■	■				коричневая серебряная							
12		■			■					булавно-зачер-пчатая			непачатая				
13		■			■					коричневая серебряная			пачатистая			УРО	Амфинода Ривулис
14		■			■					слабая зернистая	известков песчинки		пачатистая			ракушечки	
15		■			■					акерити-стая	песчинки		булавно-зачер-пчатая	аккумуля пачатистая		ракушечки	
16		■			■					акерити-стая			аккумуля			углистый осад	Ривулис Амфинода
17		■			■					перламутро-глинистая	пирит, пачатки		аккумуля	аккумуля пачатистая			Skolites 40% Ammonia 55% Rivulites 5%

■ - перерывы в осадконакоплении

кация исследователя). Поэтому возникает необходимость в создании рецепта стандартизации для обработки первичной литологической информации, который способен частично снивелировать субъективизм и сблизить подходы ее обработки у разных исследователей. Еще одним способом снижения уровня субъективности является комплексирование седиментационного анализа с данными ГИС (электрометрический и радиоактивный каротажи). Таким образом, значимость применения седиментационных колонок заключается в компактной визуализации многочисленных геолого-геофизических фактов на единой методологической основе, что должно способствовать более объективной интерпретации различных седиментационных параметров.

Седиментационная колонка строится для интервалов, детально охарактеризованных керном, масштаб выбирается в зависимости от мощности рассматриваемого интервала. Кроме данных о глубинах залегания и литологии, каждая графа в колонке отражает изменение в разрезе того или иного генетического признака.

2.1. *Структурный показатель* изображается в виде диаграммы, характеризующей величину гранулометрических фракций в определенном масштабе от пелитовой до гравийной, и тем самым иллюстрирует изменения гидродинамической активности среды осадконакопления. Прослой карбонатов и углей отражаются в той же графе, что и пелитовая фракция. В разделе «Другие признаки» отмечается степень сортировки и окатанности зерен, а также их максимальный размер.

2.2. *Минеральный состав*. Приводится информация об акцессорных и аутигенных минералах, форме их встречаемости (оолиты, пизолиты, линзочки, слойки, псевдоморфозы, рассеянное распределение).

2.3. *Текстура*. Важно отмечать не только отдельные виды текстур, но и их комбина-

ции, возможно изображение текстур в виде графических символов.

2.4. *Диастемы*. Указывается их тип (межслоевые – на границе двух литологических разностей; внутрислоевые – разделяющие однородные по составу слои); морфология поверхности (отчетливая или нерезкая, завуалированная, прямолинейная, наклонная, карманообразная, подчеркнутая минеральными новообразованиями или скоплениями органического детрита); структура подстилающих и перекрывающих отложений (состав, гранулометрическая размерность, взаимоотношение текстур, кавернозность, органика – ризоиды, ихнофоссилии, погребенные почвы, трещины усыхания).

2.5. *Органические остатки*. Кроме таксономического состава, изображаемого соответствующими символами или латинскими названиями, приводятся сведения о размерах, степени сохранности, наличии нарастающих форм и характере распределения (концентрация, сортировка).

2.6. *Ихнофоссилии*. По возможности отмечается таксономическая принадлежность, степень биотурбированности (в целых единицах от 1 до 6), глубина и зональность проникновения, генерации биотурбаций, фото-ихнокартаж.

2.7. *Кривые стандартного и радиоактивного каротажа*. В многочисленных работах [1, 2] установлено, что тела алевро-песчаного состава различного генезиса характеризуются индивидуальными чертами облика стандартного и радиоактивного каротажа (электро- и радиометрические модели). Поэтому предлагается в седиментационную колонку вносить информацию о строении кривых ПС или ГК для каждого анализируемого интервала. При изображении аномалий, как ПС, так и ГК, внимание уделяется морфологии их кровли и подошвы, а также боковой поверхности. Важна не только общая характеристика, но и такие детали, как прямолинейность, угол

наклона, наличие зубцов, однородность боковой линии или участки ее осложненности за счет локальных переходов в противоположную аномалию. Вся эта информация в седиментационной колонке изображается в виде единого символа.

2.8. В последней графе приводится предварительный вывод о генезисе рассматриваемого объекта.

3. Генетическая интерпретация данных и построение литолого-фациальных профилей. Литолого-фациальные разрезы строятся в соответствии с традиционными методиками, которые не нуждаются в дополнительном комментарии. Целесообразно строить как минимум два профиля во взаимно перпендикулярных направлениях. Что касается генетической интерпретации накопленной информации, то при анализе каждого седиментационного показателя предпочтительно отмечать следующие детали.

3.1. Структура горных пород. Изображение структурного показателя в виде диаграммы, отражающей изменение размерности гранулометрических фракций, имеет ряд преимуществ. Недостаточно только определять размеры обломочных зерен, но также важно выявлять тренд их изменения в разрезе для каждого изучаемого объекта. Постепенное уменьшение зернистости вверх по разрезу, как правило, характерно для эрозионных процессов, которые начинаются с периодов максимальной гидродинамической активности водной массы и завершаются ее постепенным затуханием. Так построены разрезы аллювиального генезиса или сформированные в пределах авандельтовых бороздин.

Если же породы формировались в прибрежных обстановках морского бассейна (фронтальные зоны пляжей, устьевые и вдольбереговые бары), то в распределении структурных признаков наблюдается обратная картина. По мере роста указанных геоморфологических тел поверхность дна на

участках осадконакопления постепенно повышается и приближается к уровню моря. Вследствие этого воздействие волнений становится все более интенсивным, тонкие алевро-пелитовые частицы вымываются из осадка и перемещаются в смежные, гипсометрически пониженные участки. Зернистость пород, сформированных в таких условиях, увеличивается в направлении от подошвы к кровле. Изучение структурных особенностей способствует обоснованию таких нестандартных седиментационных тел, как штормовые пласты. Одним из признаков темпеститов служит градационная слоистость, которая характеризуется изменением (уменьшением, реже увеличением) фракционного состава в пределах одного слоя без четких границ между слоями с различными размерами обломочных зерен (фото 1).

Анализ распределения структур по разрезу в ряде случаев позволяет выявить явления цикличности, обусловленные периодическими изменениями некоторых седиментационных процессов. Повторяемость в разрезе интервалов со сходными гранулометрическими характеристиками может быть присуща породам авандельтового или подводно-оползневого происхождения, нередко наблюдается в темпеститах.

При характеристике структур наряду с закономерностями изменения размерности важно отмечать показатели сортировки и окатанности обломочного материала. Обычно степень этих показателей возрастает в фациальном ряду речной аллювий – алевро-песчаники прибрежных фаций – алевро-песчаники мелководного шельфа.

3.2. Генетическая интерпретация данных о геологических перерывах. Различные варианты геологических перерывов могут быть изучены уже на стадии макроописания керна. Чаще всего это разнообразные диаграммы локального масштаба, анализ которых может способствовать получению важ-



Фото 1



Фото 2



Фото 3



Фото 4



Фото 5



Фото 6

Фото 1. Градационное распределение песчано-гравийных зерен в отложениях воробьевского горизонта

Фото 2. Межслоевая диастема эрозийного типа в основании биоморфно-детритовых известняков

Фото 3. Дигармоничные складки и мелкая гофрировка в отложениях пашийского горизонта

Фото 4. Карманообразная поверхность биотурбированных известняков («твердое дно»). Крупные норки *Thalassinoides* заполнены карбонатным илом перекрывающих карбонатов

Фото 5. Поверхность «soft-ground», подчеркнутая крупной ризокрецией и ходом ихнофоссилии, в отложениях бобриковского горизонта

Фото 6. Биотурбированные породы бобриковского горизонта. Видны слои с различной степенью биотурбации, обусловленные изменением скорости осадконакопления

ной генетической информации. Диастемы в зависимости от соотношения со слоевыми единицами бывают меж- и внутрислоевые. Первые выражены более четко, поскольку обычно разделяют слои с отличающимися структурами или различной литологией. Внутрислоевые паузы-диастемы обычно обнаруживаются внутри относительно однородного слоя, в котором нет четких переходов. Они завуалированы другими седиментационными признаками.

Всю совокупность диастем предлагается разделять на четыре группы в зависимости от особенностей механизма формирования. А – с нулевой седиментацией без перемещения осадочного вещества из зоны перерыва. Такой механизм чаще всего реализуется в верхней части регрессивных циклов, когда осадконакопление происходит на фоне дефицита осадочного материала. Постепенное обмеление водоемов, предшествующее перерыву, распознается в строении подстилающих отложений, в которых сохраняются седиментационные текстуры, фиксируются пропластки угля, остатки углефицированной растительности и трещины усыхания. В генетическом отношении они связаны с пойменными фациями, маршами прибрежной зоны, зарастающими озерами и дельтовыми рукавами. Иногда встречаются среди отложений межбороздинных авандельтовых пространств. Б – с нулевой седиментацией в результате неотложения вещества. Диастемы могут возникать не как следствие размыва более древнего слоя, а как результат ненакопления новых порций осадка. При терригенной седиментации такие случаи обусловлены низкой гидродинамикой водной среды, которой недостаточно для отрыва от дна обломочных частиц, а хватает лишь для того, чтобы осадочный материал, находящийся во взвеси, не мог перейти в осажденное состояние. Также «неосаждение» может реализовываться при пульсационном ха-

рактере седиментации, когда на фоне порционного поступления осадочного материала периоды аккумуляции чередуются с паузами привноса. Перерывы «неотложения» обычно характеризуются субгоризонтальными относительно ровными поверхностями с полным сохранением первичных текстур как в подстилающих, так и в перекрывающих породах. В карбонатных разрезах рассматриваемая группа диастем уверенно распознается благодаря тафономическим наблюдениям. В «молодых» породах, перекрывающих поверхность несогласия, фиксируется прижизненный тип захоронения макрофауны (прикрепленные, каркасообразующие, нарастающие и пр. организмы). В – отрицательная седиментация с перемещением (удалением-размыванием) вещества. Такие диастемы хорошо выражены, поверхности несогласия могут быть наклонены или приобретать карманообразный эрозионный характер (фото 2). Подстилающие образования обычно срезаны, что уверенно фиксируется по нарушенности различных текстур (косая, мульдообразная, горизонтальная, флазерная и др. виды слоистости). Рассматриваемая группа диастем бывает приурочена к началу трансгрессивных циклов или формируется в очень изменчивых в гидродинамическом отношении условиях (прибрежные фации). Достаточно часто перемещение осадочного материала может быть обусловлено подводно-оползневыми процессами, проявление которых широко распространено в породах пашийского горизонта и колганской толщи, вскрытых скважинами на территории Оренбургской области. В случае перемещения слабо литифицированных осадков перерывы в осадконакоплении развиваются сразу на двух участках: в местах отрыва происходит удаление материала и возникает временной интервал перерыва, стратиграфический объем которого зависит от количества переме-

щенного материала; на участках отложения перемещенного материала доказательства перерыва выявляются на основании специфических текстур (дисгармоничные складки, песчаные «колобки» и «роллы», мелкая гофрировка и др.) в перекрывающих отложениях (фото 3). Такие перерывы являются индикаторами контрастных неровностей морского дна, часто обусловленных морфологически выраженными седиментационными барьерами. В размываемых породах, в зависимости от литологии субстрата, может происходить полная или частичная литификация осадков и возникновение «панцирей». Поверхности таких осадков называются «твердое дно», если они образовались на карбонатном субстрате (фото 4), или «soft-ground» – в полужидких алевро-глинистых и алевро-песчаных грунтах (фото 5). Описанные процессы протекают достаточно быстро, могут быть обусловлены подводными течениями и обеспечивать «чистое» состояние морского дна в течение какого-то времени. Г – отрицательная седиментация с перемещением (удалением-вымыванием) вещества. Этот тип перерывов формируется на фоне конденсирования разрезов в результате одноразового или циклического вымывания из них тонких фракций и компонентов. Такие условия могут создаваться в пределах локальных конседиментационных поднятий в прибрежных или мелководно-морских обстановках.

3.3. *Генетическое значение ихнофоссилий.* Большинство исследователей, активно использующих ихнофаціальний анализ, свою основную цель применения этой методики видят в таксономической диагностике ихнофоссилий в качестве своеобразного инструмента для определения палеоглубин в различных палеогеографических обстановках. Между тем даже в случае плохой сохранности биотурбированных организмов и невозможности их отнесения к тому или иному ихнотаксону существует опре-

деленный потенциал для уточнения некоторых параметров условий осадконакопления.

В разрезах девона и карбона, вскрытых скважинами на территории Оренбургской, Самарской и Саратовской областей, ихнофоссилии наиболее часто встречаются в породах живетского (воробьевский горизонт) и визейского (бобриковский горизонт) ярусов, а также нижнефранского подъяруса (пашийский горизонт). Характерно, что в более древних отложениях, нежели воробьевские, биотурбированные породы наблюдаются очень редко. Обычно биотурбациям подвержены алевро-глинистые и песчано-алевритовые образования, значительно реже они отмечаются в чисто песчаных и карбонатных отложениях. Также характерна связь биотурбированных горизонтов с геологическими перерывами, которые нередко выражены границами эрозийного типа. Среди ихнофоссилий доминируют представители следующих таксонов: *Skolithos*, *Planolites*, *Teichichnus* и *Thalassinoides* (фото 4), в меньшей степени распространены *Ophiomorpha*, *Chondrithes* и *Zoophycus*, эпизодически встречаются *Palaeophycus* и *Taenidium*.

Установлено, что степень биотурбированности может изменяться в широких пределах, как по разрезу, так и по латерали того или иного слоя. При этом максимальной переработкой отличаются горизонты («слои перемешивания»), подвергавшиеся многократному перемешиванию почти до однородной массы. Примеры подобных слоев наиболее типичны для бобриковских разрезов, сформированных в условиях межбороздинных пространств в пределах аванделъта.

Степень биотурбированности нередко контролируется интенсивностью гидродинамической активности водной массы. Осадки, накопившиеся в условиях высокой гидродинамической энергии (песчаники

авандельтовых бороздин или фронтальной части прибрежных обстановок), обычно переработаны ихнофоссилиями менее интенсивно по сравнению с продуктами низкой энергии. На участках дна с низкой энергией (забаровые лагуны, межбороздинные авандельтовые пространства) плотность заселения бентосными организмами значительно выше.

Часто при описании керна не удается найти надежных доказательств эрозионного происхождения диастем. Между тем доказательства эрозии на поверхности дна могут быть получены при анализе морфологических особенностей следов ихнофоссилий. На фото 4 виден четкий ход *Thalassinoides* в виде субвертикальной шахты, образованный в момент перерыва в осадконакоплении и в дальнейшем заполненный перекрывающими осадками.

В зависимости от особенностей седиментационного процесса могут складываться различные варианты соотношений между глубиной эрозии, скоростью биотурбации и мощностью элементарных осадочных единиц (скоростью осадконакопления). В результате чередования периодов быстрого и медленного осадконакопления, разделенных кратковременными перерывами, образуются ритмически построенные разрезы с фрагментами, отличающимися интенсивностью биотурбации. В разрезе бобриковского горизонта некоторых разведочных площадей (фото 6) нижний ритм характеризуется относительно замедленными темпами седиментации, которые постепенно нарастали и завершились перерывом в конце интервала. Интенсивность переработки биотурбациями относительно невелика, на это указывает частичное сохранение исходной горизонтальной слоистости. В течение накопления второго ритма произошло резкое замедление скорости осадконакопления. Синхронно с накоплением алевро-пелитовых осадков произошла ин-

тенсивная оккупация морского дна бентосными организмами, проявившаяся в его тотальной переработке (интенсивность биотурбации около 90%). Процесс был остановлен новым перерывом в осадконакоплении. Формирование верхнего ритма в начальный период осуществлялось на фоне очень высокой скорости седиментации. Такие условия с быстрым засыпанием морского дна песчаным материалом были неприемлемы для роющих организмов. Строение данного ритма осложнено лишь единичными вертикальными шахтами, разработанными ихнофоссилиями. К концу формирования верхнего ритма гидродинамическая активность постепенно затухала, что способствовало накоплению алевроглинистых осадков и постепенной колонизации роющих и илоядных форм.

Таким образом, изучение ихнофоссилий может способствовать выявлению и характеристике целого ряда седиментационных параметров.

- Появляется возможность дешифрировать историю эпизодов аккумуляции, эрозии и ненакопления осадков;

- Способствует детализации гидродинамической активности водной массы (ряд от *Skolithos* до *Zoophicos* указывает на усиление гидродинамики);

- Можно выделить этапы быстрой и медленной седиментации. Медленная – когда быстрая сукцессия сообществ и медленная седиментация приводят к наложению более поздних на более ранние и уничтожению последних. При этом интенсивность биотурбации обычно достигает максимальных значений (до 80–90%), а ихнофоссилии диагностируются с большим трудом. Постепенное приращение осадка, сопровождающееся последовательной колонизацией, создает «этажность» биотурбированных горизонтов, когда следы ихносообществ сохраняются в осадке один над другим;

- Выявлению батиметрических реконструкций с помощью ихнофациального анализа;

- Характеристике ярусного строения горизонтов с ихнофоссилиями. Сохранность профиля определяется тремя основными факторами: глубиной эрозии; сочетанием биотурбаций нескольких генераций; скоростью возобновленного осадконакопления. Максимальная сохранность переработанных горизонтов достигается в тех случаях, когда они перекрываются без длительных перерывов продуктами быстрых седиментационных событий. В разрезах воробьевского и пашийского горизонтов подобные ситуации отмечены на тех площадях, где горизонты с массовым распространением ихнофоссилий перекрыты отложениями темпеститов или подводно-оползневых процессов;

- Характеристике тенденции развития палеобассейнов. В случае его трансгрессивного развития степень биотурбированности нередко снижается вверх по разрезу.

3.4. *Генетическая типизация геологических тел алевро-песчаного состава с использованием каротажных диаграмм.* Использование электро- и радиометрических фаций для решения задач седиментационного анализа, в том числе и моделирования, широко применяется в нефтедобывающих районах Западной Сибири [1, 2] и почти не практикуется при изучении палеозойских разрезов Волго-Уральской НГП. Суть метода заключается в детальной характеристике облика кровли, подошвы и боковой линии аномалий на кривых ГК и ПС, их седиментологической интерпретации и создании ряда типовых моделей для различных палеогеографических обстановок.

3.4.1. *Седиментологическая интерпретация основных элементов электрометрических и радиометрических аномалий.* Кровля аномалий отражает изменение гранулометрического состава и гидродина-

мических условий в завершающую фазу формирования пород, а также характер их контактов с перекрывающими отложениями. Горизонтальная кровельная линия характеризует резкий литологический контакт, обусловленный контрастной сменной гидродинамической активностью, часто отражает кратковременные перерывы в осадконакоплении. Наклонная кровля обусловлена постепенным переходом одной литологической разности в другую. По своей морфологии они могут быть прямыми, когда переход осуществляется от грубо- к тонкозернистым фракциям (или от небольших значений гамма активности к большому). Если же изменение фракций постепенное, но неравномерное, то кровля приобретает волнистое строение. При некоторых способах аккумуляции неравномерность может быть выражена очень резко, вплоть до пауз с ненакоплением вещества, но общий тренд уменьшения зернистости сохраняется. Кровля становится зубчатой или даже рассеченной на несколько фрагментов, если в верхней части разреза отмечается чередование нескольких, существенно различающихся гранулометрических фракций.

Боковая линия аномалий отражает гидродинамические особенности, зафиксированные в изменении вещественного состава в процессе накопления терригенных пластов. Как и в случае с кровельной линией, она может быть вертикальной или наклоненной в обе стороны, прямолинейной, волнистой, зубчатой и рассеченной. Прямая вертикальная линия нередко указывает на осевые участки песчаных тел с их максимальной мощностью и стабильные показатели гидродинамики в течение накопления всего пласта. Зубчатое и рассеченное строение боковой линии более характерно для периферийных частей песчаных тел в зоне их фациального замещения, а также может отражать циклическое осадконакопление.

Подошвенная линия характеризует контакт с подстилающими породами и нередко является решающим фактором в определении генезиса. Резкий контакт, возникающий в результате размыва подстилающих пород, имеет вид горизонтальной прямой и чаще всего типичен для русловых обстановок или авандельтовых бороздин. Наклонная подошвенная линия обусловлена постепенным переходом от подстилающих пород и наиболее характерна для различных осадочных тел прибрежно-морского генезиса. Морфологические особенности подошвы (прямолинейная, волнистая, зубчатая, рассеченная) отражают степень динамической неустойчивости среды осадко-накопления.

3.4.2. Типовые модели электро- и радиометрических фаций, составленные для мезозойских разрезов Западной Сибири [1], могут быть взяты за основу при седиментационном моделировании девонских и каменноугольных терригенных образований Волго-Урала. Они характеризуют осадочные тела, которые формировались в следующих палеогеографических обстановках.

1. Диагностика морских фаций. Общим признаком всего комплекса этой группы фаций является укрупнение зернистости в обломочных породах вверх по разрезу, что находит отражение в облике большинства фациальных разновидностей. Устьевые бары характеризуются сложно построенной аномалией ПС, которая состоит из двух треугольников и четырехугольника, напоминающих равнобедренную трапецию. Кровля представляет собой наклонную прямую с волнистым или зубчатым профилем, боковая линия обычно вертикальная, прямолинейная или слабозубчатая. При выходе реки в море скорость течения всегда падает (первый уровень глобальной седиментации), поток пресной воды растекается по морской поверхности. В резуль-

тате отложения большей части обломочного материала формируются отмели.

Пляжи и вдольбереговые регрессивные бары характеризуются похожими электрометрическими моделями. Они состоят из двух слившихся прямоугольных треугольников, остроугольные вершины которых располагаются в области отрицательных значений ПС. В отличие от других моделей боковая линия слабо выражена или совсем не выражена, кровля горизонтальная, осложненная зубчатостью. Подошвенная линия наклонная, зубчатая или даже рассеченная. Такая геометрическая форма обусловлена гидродинамической активностью прерывистого характера, всегда нарастающей в направлении кровли.

Гребни штормовых волн. Фации данного типа формируются в прибрежных или мелководных обстановках ниже базиса действия обычных волн. В генетическом отношении участки формирования гребней приурочены к зоне забурунивания штормовых волн, где происходит их разрушение. Могут быть приурочены к различным глубинам (от 10 до 50 м) в зависимости от величины (типа) морского бассейна и особенностей рельефа морского дна. Электрометрическая модель состоит из простой аномалии или комбинации нескольких узких прямоугольных треугольников, знаменующих фазы наиболее интенсивных штормов. Кровля субгоризонтальная или слабонаклоненная, подошвенная линия наклонена под разными углами в зависимости от силы штормов, сильно рассеченная.

Фации открытого моря. Радиометрическая модель представляет собой аномалию в виде прямоугольника со значениями в основании и кровле 4–6 микрорентген, ширина которого контролируется особенностями литологического состава. Подошва и кровля обычно горизонтальные, прямолинейные, боковая линия – вертикальная, слабо-волнистая.

2. Диагностика фаций дельтового комплекса. Палеореки девонского и каменноугольного периодов обладали внушительными размерами, существовали длительные периоды времени (до первых млн лет) и на участках впадения в морские водоемы сформировали мощные дельтовые «ковши» изменчивой морфологии в плане. Они характеризуются сложным внутренним строением в зависимости от преобладающих седиментационных процессов и при хорошем качестве каротажного материала могут быть разделены на отдельные фации. В зависимости от доминирующего фактора осадконакопления в бобриковских отложениях нами были выделены три генетических типа дельтовых обстановок: флювиальные дельты, дельты волнового воздействия и дельты прорыва. Несмотря на существенные различия в строении, при седиментационном моделировании среди них могут быть установлены следующие общие фации. Фации морского края формируются на стыке надводной и подводной частей дельт. Важнейший седиментационный процесс таких обстановок заключается в аккумуляции значительного объема осадков, выносимых речными водами, и наращивании надводной части за счет роста кос, устьевых баров и островов-осередышей. Осадочные тела мощностью до 35–40 м довольно однородны по своему строению, сложены относительно хорошо промытыми алевро-песчаными породами (Сахаровская площадь в Оренбургской области) и выражены в виде радиометрической аномалии с наклонной боковой линией в сторону увеличения радиоактивности.

Фации подводной равнины дельтового комплекса (авандельты) формируются в пределах слабонаклоненной в сторону моря поверхности, на которой доминирует накопление алевро-глинистого материала. Кроме того, происходит образование мощных (до нескольких десятков м), линей-

но вытянутых песчаных тел двух типов. В палеозойских разрезах Волго-Уральской НПП значительно чаще сохранились песчаники, которые выполняют авандельтовые бороздины – желобообразные эрозионные формы, являющиеся подводным продолжением крупных дельтовых каналов. Практически неизвестны тела, формировавшиеся вблизи гребня на внешнем крае подводной равнины и довольно хорошо изученные в других регионах. Электрометрическая модель подводной равнины характеризуется чрезвычайной изменчивостью, как правило, имеет сложное строение, обусловленное чередованием нескольких элементарных моделей.

Фации подводного склона дельтового комплекса. В тех случаях, когда дельтовый комплекс формируется относительно длительное время без существенного изменения местоположения, во фронтальной части подводной равнины происходит разгрузка целого ряда авандельтовых бороздин и аккумуляция огромного объема приносимого ими алевро-песчаного материала. В результате возникает эффект «дельтовой ложки» и создаются крупные депоцентры, в пределах которых седиментация сопровождается изостатическим прогибанием морского дна. Тела подобного происхождения, приуроченные к бобриковскому горизонту, известны на некоторых участках Бузулукской впадины. Электрометрическая модель, иллюстрирующая их строение, представляет собой асимметричную трапецию с горизонтальной подошвой. Кровельная линия, как правило, значительно наклонена за счет уменьшения зернистости терригенных пород вверх по разрезу и появлению вблизи кровли пластов углистых глин или углей. Боковая линия субвертикальная, зубчатая, может быть расчленена одним или несколькими фрагментами в случае циклического развития осадконакопления.

Таким образом, методика генетической типизации песчаных тел с использованием кривых ПС и ГК сводится к следующим операциям.

- На электрометрических разрезах скважин устанавливаются положительные и отрицательные аномалии, выявляется их сходство с электрометрическими (радиометрическими) разновидностями фаций, предложенными Муромцевым В. С. в работе [1].

- При наличии сходства анализируются элементы аномалии и соответствующие ей фрагменты электрометрической разновидности (кровельная, боковая, подошвенная линии, ширина аномалии).

- Устанавливается максимальное значение $\Delta\rho_s$, его местоположение в пределах аномалии, направление уменьшения $\Delta\rho_s$, сравнивается с аналогичными признаками сходной электрометрической разновидности.

- Определяется направленность процесса осадконакопления, изучаются покрывающие аномалии и переходы в смежные фа-

ции, отмечаются сходные по форме кривой электрометрические разновидности фаций.

4. *Построение литолого-фациальных карт.* Согласно результатам генетической интерпретации, полученным по итогам анализа седиментационных колонок и литолого-фациальных разрезов, строится комплект карт, на которых отражаются площади распространения различных геологических тел, отличающихся своим происхождением, особенностями их вещественного состава и другие генетические признаки. Также на основе построенных карт определяется этапность развития палеобассейнов. Происходит переход к двухмерной модели.

Таким образом, алгоритм седиментационной модели заключается в подготовке исходных данных, на основании генетической интерпретации осуществляется последовательный переход от одномерной к двухмерной модели. При бурении новых скважин корректность полученной модели может быть подтверждена либо потребуется корректировка входных данных или их генетической интерпретации.

Л и т е р а т у р а

1. Алексеев В. П. Литолого-фациальный анализ. – Екатеринбург: изд-во УГГГА, 2003. – 147 с.
2. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.
3. Мушин И. А., Фортунатова Н. К., Белоусов Г. А. Технологии построения объемных седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 1. – С. 37–45.
4. Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов / сост. и общ. ред. Н. К. Фортунатова. – М.: РЭФИА, 2006. – 239 с.

