

10. Трошков, Г.А. Применение компьютерной технологии «Особые точки» для определения поверхности кристаллического фундамента Русской платформы по аэромагнитным данным / Г.А. Трошков, О.И. Погарева // Российский геофизический журнал. — 2001. — № 23–24.

11. Удоратин, В.В. Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми / В.В. Удоратин — Сыктывкар: Геопринт, 2000. — 92 с.

© Калинин Д.Ф., Погарева О.И., Яновская Ю.А., 2016

Калинин Дмитрий Федорович // onadima@mail.ru

Погарева Ольга Игоревна // olga.pogareva@yandex.ru

Яновская Юлия Александровна // yanovskaya-yuliya61@yandex.ru

УДК 553.982.23

Шиманский В.В., Танинская Н.В., Колпенская Н.Н., Васильев Н.Я., Низяева И.С. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

СЕДИМЕНТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ НЕСТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ

*Рассмотрена методика седиментационного моделирования при прогнозе и поисках неструктурных ловушек углеводородов, которая опирается на комплексное использование седиментологических, литолого-фациальных, биостратиграфических, промыслово-геофизических и сейсмических методов. Методика разработана и апробирована при изучении терригенных и карбонатных разрезов в Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинциях. **Ключевые слова:** литофации, седиментационные модели, терригенные, карбонатные отложения.*

Shimanskiy V.V., Taninskaya N.V., Koltenskaya N.N., Vasiliev N.Ya., Nizyaeva I.S. (Geologorazvedka)

SEDIMENTOLOGICAL MODELING IN THE FORECAST AND SEARCH OF NON-STRUCTURAL HYDROCARBON TRAPS

*The article is devoted to the methodology of the sedimentation modeling in forecast and search of non-structural hydrocarbon traps, which relies on the integrated use of sedimentological, litho-facial, biostratigraphical, field geophysical and seismic methods. The methodology is developed and tested during studies of clastic and carbonate sequences in the West Siberian, East Siberian and Timan-Pechora oil and gas provinces. **Keywords:** lithofacies, sedimentological model, terrigenous, carbonate deposits.*

В последние годы в стране остро стоит проблема воспроизводства запасов нефти и газа при значительном превышении их добычи. Прогноз залежей УВ традиционно производится по сейсмическим данным, когда основным критерием поисков является структурный фактор. По мере увеличения детальности исследований в нефтегазоносных бассейнах возрастает количество обнаруженных залежей УВ неструктурного типа, которые контролируются не структурно-тектоническими, а стратиграфическими, литологическими, фациальными факторами. В этих условиях особенно важным является максимально достоверная геологическая интерпретация данных сейсморазведки с целью создания моделей нефтегазоносных объектов, генетически связанных с неструктурными ловушками УВ. Несмотря на широ-

кое распространение неструктурных ловушек, их поиску и разведке в России не уделяется соответствующего их значению внимания. В то время как в США залежи этого типа являются основным объектом поисков и разработки (до 75 % нефти добывается из неструктурных ловушек) в России доля добываемой из неструктурных ловушек нефти не превышает 10 %. Однако как разработка выявленных объектов, так прогноз и поиски новых сталкиваются с серьезными проблемами из-за их сложного строения и резкой фациальной изменчивости. Прогноз и поиск новых нетрадиционных объектов возможен только на основе комплексирования различных областей знания, применения инновационных технологий.

В связи с этим перед специалистами ФГУНПП «Геологоразведка» в последние годы стояли задачи по совершенствованию методики прогноза и поисков неструктурных ловушек углеводородов на основе комплексирования седиментологических, палеонтолого-стратиграфических, фациально-палеогеографических, промыслово-геофизических и сейсмических исследований, проведенных в нефтегазоносных комплексах Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской и Тимано-Печорской провинций [8].

При осуществлении работ использовался ряд методов и технология их применения, основанная на комплексировании седиментологических, литолого-фациальных, биостратиграфических и сейсмофациальных исследований и хорошо зарекомендовавших себя как при построении региональных седиментационных моделей, так и при построении седиментационных моделей месторождений (рис. 1).

Седиментологический анализ кернa. При седиментологической характеристике керна определяются основные признаки породы: цвет, структура, текстура, вещественный состав, характер взаимоотношения с выше- и нижележащими слоями, согласное или несогласное залегание, цикличность, тип слоистости, текстура, включения, пористость и трещиноватость пород, характер нефтенасыщения, фауна и флора, литотипы пород в слоях и выделяются литофации.

В терригенных разрезах определяются элементы текстур, связанные с особенностями питания и перемещения ползающих организмов (ихнофоссилий) по методу, разработанному С. Джорджем Пембертоном [10]. Следы жизнедеятельности ископаемых организмов или ихнофация заключают в себе комплекс текстур биотурбации, характерный для определенных условий осадконакопления (рис. 2).

В карбонатных разрезах литологические типы пород определяются с использованием генетической классификации карбонатных пород по Данему [9]. По результатам детальной характеристики керна строятся литолого-седиментологические колонки в масштабе 1:50 или 1:100. Построение таких колонок дает возможность при дальнейшей работе выделять фации и проследивать их изменения в бассейне седиментации.

Анализ состава биоценозов. Изучение ассоциации ископаемых фоссилий (спор и пыльцы ископаемых растений, микрофитопланктона (цисты динофлагеллят),

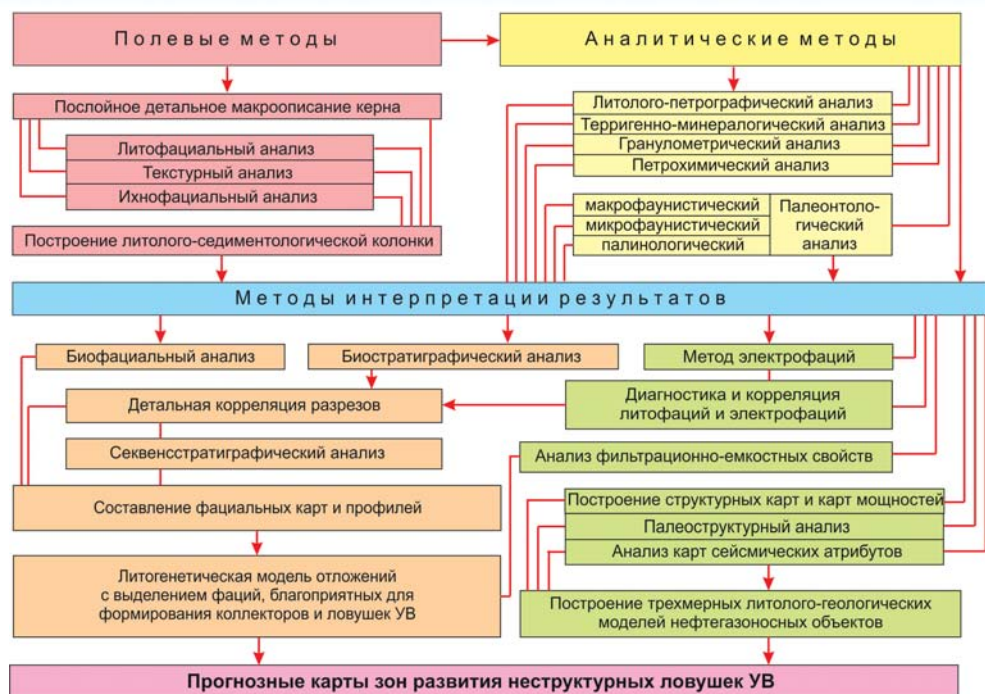


Рис. 1. Схема последовательности проведения работ при прогнозе неструктурных ловушек УВ

комплексов фораминифер, остракод, брахиопод, аммонитов, двустворчатых моллюсков и др.), обнаруживаемых в осадочных отложениях, производится с целью установления возраста пород, биостратиграфического расчленения и корреляции разрезов, а также условий и динамики среды осадкообразования.

Литолого-петрографический анализ пород в шлифах проводится с определением вещественного состава, структурно-текстурных особенностей пород, постседиментационных изменений, изучением структуры порового пространства, с количественным подсчетом параметров трещиноватости (объемной плотности трещин, трещинной проницаемости и емкости трещин) по методике Е.М. Смехова, Л.П. Гмид и Е.С. Ромма [2].

Терригенно-минералогический анализ проводится с целью выявления путей миграции зернового материала и определения источников сноса [1].

Гранулометрический анализ с реконструкцией палеодинамических обстановок осадконакопления позволяет определять различную динамику среды седиментации от застойных условий до сильных речных течений [5].

Петрохимический анализ используется для характеристики условий осадконакопления, так как геохимические параметры являются показателями фациальных условий, климата, солености бассейна седиментации [4].

Метод электрометрических моделей фаций позволяет устанавливать фациальную природу терригенных отложений не только по керну, но и по электрометрическим характеристикам в интервалах отсутствия кернового материала. Диагностика терригенных фаций, проведенная в результате анализа керна, увязывается с результатами фациальной интерпретации каротажных диаграмм по типовым моделям электрофаций, разра-

ботанным В.С. Муромцевым [3]. Электрометрической моделью фации называется отрезок кривой самопроизвольной поляризации (ПС), образованный одной или несколькими аномалиями, увязанными с граничными значениями относительной амплитуды кривой самопроизвольной поляризации (аПС) и отражающими изменения литофизических свойств пород, обусловленные характерной последовательностью смены палеогидродинамических уровней среды седиментации во времени. Типовые модели континентальных аллювиальных и прибрежно-морских фаций по В.С. Муромцеву были уточнены и дополнены авторами настоящей работы по

материалам континентальных, прибрежно-морских, дельтовых и морских юрско- меловых отложений Западной Сибири по более чем 3000 скважин [8].

Анализ фаций в карбонатных разрезах по данным ГИС проводится на основе изучения кернового материала с использованием литолого-фациальной интерпретации кривых каротажных диаграмм гамма-каротажа (ГК) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) в интервалах скважин, не охваченных керновым материалом. Разработанные авторами статьи методические приемы позволяют по данным ГИС расчленять разрез на крупные литологические классы: карбонатные, глинистые и смешанного состава (карбонатно-глинистые и глинисто-карбонатные) породы, а также выделять в скважинах органогенные постройки [6]. Критерии выделения отдельных фациальных типов устанавливаются на основе анализа комплекса данных по керну и сопоставления их с параметрами ГИС. Для каждого класса производился статистический подбор параметров. При дифференциации разреза используются нормированные показания кривой ГК и содержание нерастворимого остатка, которые сопоставляются с данными исследования керна. Нормирование кривой ГК производится по каждой скважине в пределах изучаемого разреза. На основе этих данных определяются критерии выделения преимущественно карбонатных и преимущественно глинистых пород по кривой dГК; промежуточные значения относятся к смешанным (глинисто-карбонатным, тонкослоистым) частям разреза. Органогенные постройки характеризуются довольно низкими содержаниями нерастворимого глинистого остатка (менее 5 %). На основе анализа кривой dГК и ее зависимости от значений нерастворимого глинистого остатка в органогенных постройках, полученных лабораторным путем, установлено, что преобладающее его значение

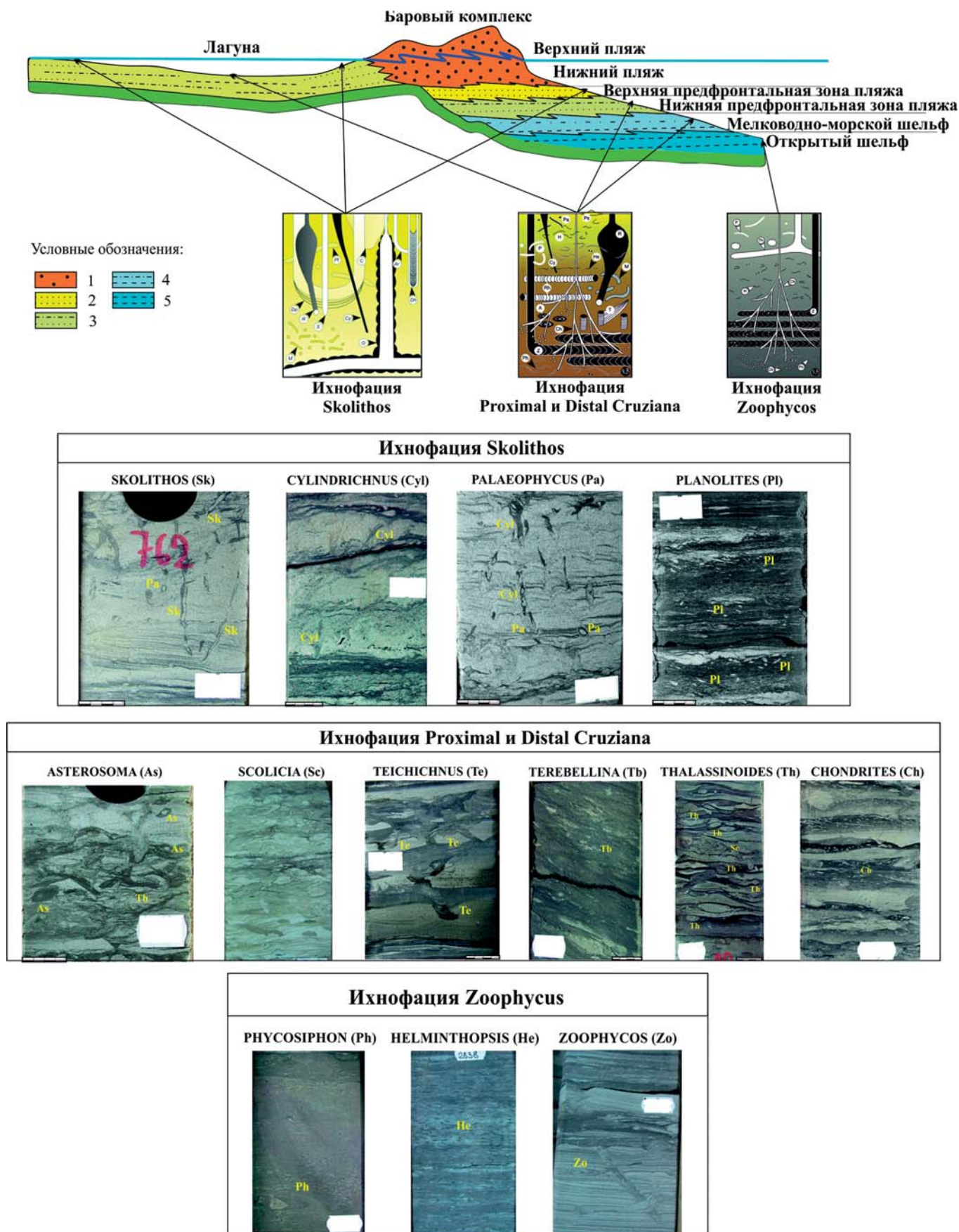


Рис. 2. Ихнофациальная зональность отложений: 1 — песчаники крупно-среднезернистые; 2 — песчаники средне-мелкозернистые; 3 — переслаивание алевролита и песчаника тонко-мелкозернистого; 4 — переслаивание алевролита и аргиллита; 5 — аргиллит

не превышает 0,5 % с редкими отклонениями до 1,5–2 %.

Анализ фильтрационно-емкостных свойств позволяет определить зависимость между пористостью и проницаемостью, типы коллекторов, а также их распределение по разрезу и латерали в фациальных зонах и перспективных пластах. Типы коллекторов в терригенных разрезах выделяются по методике А.А. Ханина [7], а в карбонатных — по классификации коллекторов сложного типа [2].

Литолого-фациальные исследования. По результатам исследований приведенных методов проводится диагностика фаций и составляются атласы фаций изучаемых отложений для конкретных месторождений или регионов различных генетических комплексов: континентального, прибрежно-морского, дельтового, мелководно-морского, склонового и глубоководно-морского (рис. 3). Выделение фаций и анализ их изменения по разрезу позволяют определять условия их накопления. Восстанавливаются обстановки осадко-

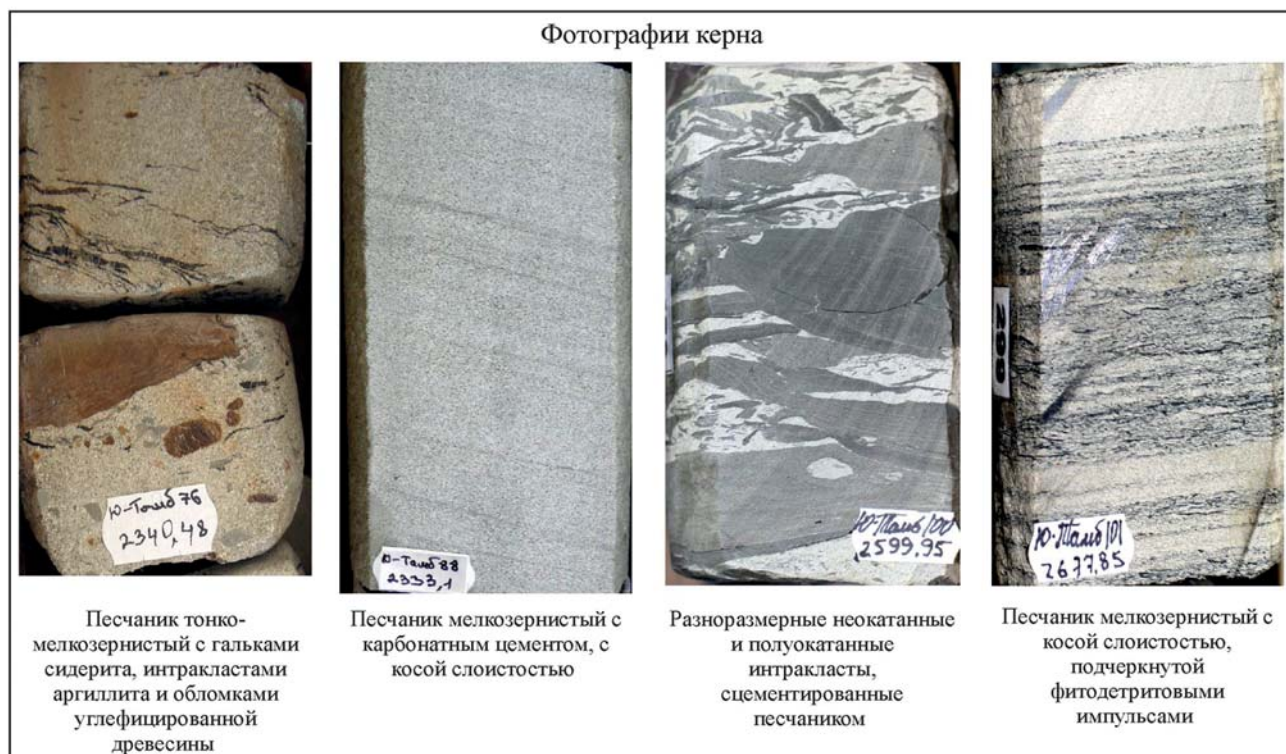
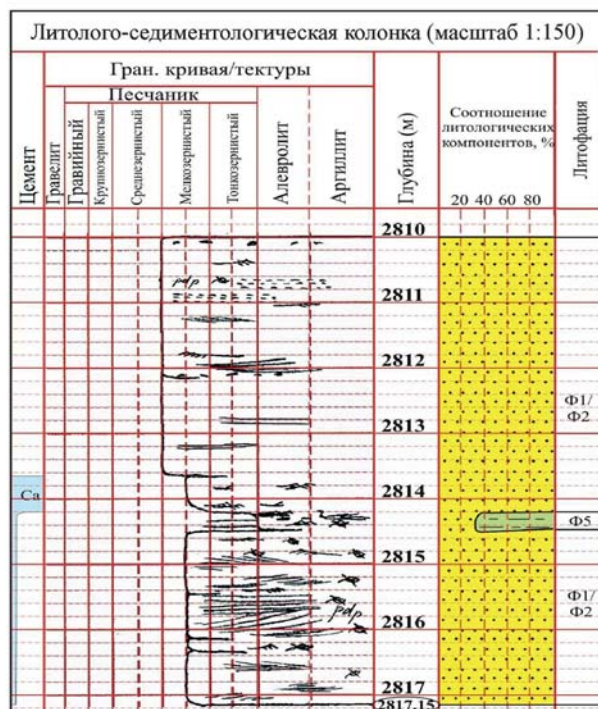
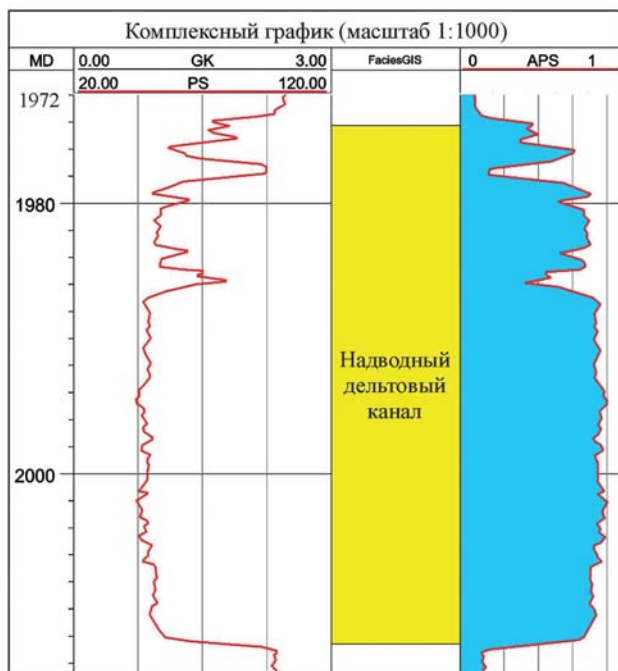


Рис. 3. Фация надводного дельтового канала

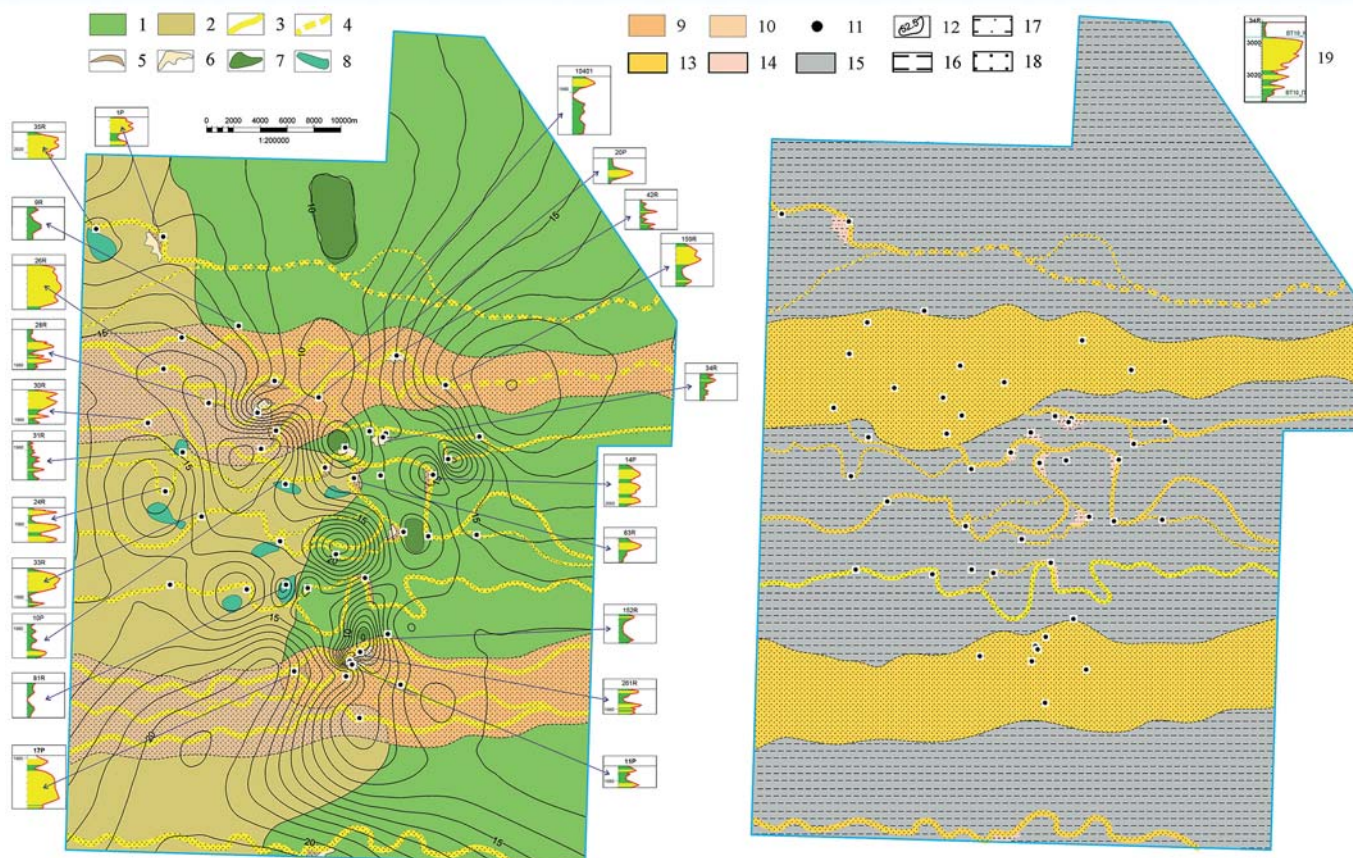


Рис. 4. Пример построения фациальной (слева) и прогнозной (справа) карт: 1-10 — палеофациальные зоны: 1 — временно заливаемые участки пойм; 2 — приливно-отливная отмель; 3 — русловые отмели, дельтовые и приливно-отливные каналы; 4 — предполагаемые русловые отмели, дельтовые и приливно-отливные каналы; 5 — береговые валы; 6 — пески разливов; 7 — болота и озера; 8 — приморские болота (марши); 9 — пояс меандрирования в пределах надводной части дельты; 10 — пояс меандрирования в пределах приливно-отливной отмели; 11 — скважины, вскрывшие отложения пласта; 12 — изопахиты мощности отложений пласта; 13-15 — прогнозные зоны развития улучшенных коллекторов: 13 — наиболее перспективные; 14 — перспективные; 15 — наименее перспективные; 16-18 — литологические разности отложений: 16 — преимущественно глинистые; 17 — преимущественно алевритовые; 18 — преимущественно песчаные; 19 — график кривой аПС в интервале отложений пласта

накопления и порядок их расположения в бассейне седиментации от берега к глубокому бассейну, разрабатываются концептуальные модели осадконакопления. При фациальном анализе учитываются также постседиментационные преобразования осадков в процессе их литогенеза.

Секвенстратиграфический метод занимается составлением пространственно-временных моделей бассейнов седиментации, в которых формируются геологические тела, ограниченные поверхностями несогласий или коррелирующими с ними согласными поверхностями, называемыми секвенциями. Секвенстратиграфический метод был разработан в 1970–1980-е годы американскими учеными [11]. Одной из основных задач секвенстратиграфии является установление фациальных рядов в бассейне седиментации, а также исследование изменчивости фаций по разрезу и цикличности по условиям осадконакопления.

Седиментационное моделирование и фациально-палеогеографические реконструкции позволяют раскрыть важнейшие особенности строения осадочных толщ; вещественный состав, структурные и текстурные особенности пород, комплекс органических остатков, их экологию

и условия захоронения, а также строение и размещение осадочных тел в разновозрастных отложениях.

Одним из основных результатов проведенных исследований являются фациально-палеогеографические карты или фациальные карты, построенные по комплексу литолого-фациальных исследований керна и интерпретации ГИС, на основе карт мощностей и палеоструктурных построений по данным сейсморазведки (рис. 4). Производится детальная корреляция разрезов и выделение одноименных перспективных пластов, строятся схемы корреляции. Фациальные карты составляются на узкие стратиграфические интервалы исследуемого разреза или на время накопления отдельных продуктивных пластов с выделением фаций, благоприятных для формирования коллекторов и неструктурных ловушек УВ. По данным фациальной карты строят несколько фациальных профилей, отражающих смену фаций по разрезу и по площади. При построении седиментационных моделей и выявлении этапов формирования осадочного разреза необходимо установление фаций, дифференцированных по признакам обстановок осадконакопления, а также исследование изменчивости фаций по разрезу и цикличности отложений по условиям осадконакопления.

Прогноз зон развития коллекторов и неструктурных ловушек углеводородов производится на основе построенной седиментационной модели, которая является основным материалом для оценки реального существования неструктурной ловушки нефти и газа. На основе комплексирования разработанных седиментационных моделей с данными сейсморазведки (метод МОГТ, сейсмofациальный анализ) проводится ранжирование выделенных по сейсмическим данным депоэнтров пород-коллекторов, устанавливаются зоны развития ловушек литологического и стратиграфического экранирования и строятся прогнозные карты зон развития неструктурных ловушек. Геологическая эффективность методики подтверждена успешным прогнозом УВ в юрско-меловых нефтегазоносных комплексах Среднеобской, Каймысовской, Ямало-Гыданской, Пур-Тазовской и Надым-Пурской нефтегазоносных областей Западной Сибири, где преобладают неструктурные ловушки, связанные с шельфовыми, дельтовыми и глубоководно-морскими комплексами, а также в силурийско-девонских рифогенных карбонатных комплексах Тимано-Печорской провинции.

Заключение

Эффективность применения предлагаемой методики прогноза и поисков неструктурных ловушек углеводородов может быть достигнута при использовании принципиальной схемы исследований, которая сводится к следующему:

Первый этап исследований включает анализ и обобщение палеогеографических, палеотектонических и геолого-геофизических материалов с целью определения условий формирования отложений и выбора наиболее перспективных зон для более детальных исследований. В пределах этих зон проводятся полевые исследования, включающие в себя седиментологическое макроскопическое изучение в керне и естественных разрезах. Отмечается вещественный состав отложений, структурно-текстурные особенности. Выделяются литофации, проводится анализ следов жизнедеятельности ископаемых организмов (ихнофоссилий) для реконструкции условий образования осадков. Производится расчленение и корреляция разрезов, разрабатывается концептуальная модель осадконакопления.

На втором этапе осуществляется седиментационное моделирование процессов формирования неструктурных ловушек, которое включает ряд аналитических методов: метод палеодинамических реконструкций по данным анализа гранулометрических параметров; терригенно-минералогический анализ; палеоструктурный анализ; петрохимический метод; метод анализа состава биоценозов; литолого-петрографические исследования; метод электрометрических моделей фаций, литолого-фациальный анализ. На основе проведенных исследований осуществляется комплексирование с сейсмическими данными (временные разрезы, сейсмические атрибуты), составляются литолого-фациальные, палеогеографические карты, литолого-фа-

циальные профили. Устанавливаются этапы развития бассейна седиментации, определяются фации, благоприятные для формирования пород-коллекторов. Строятся карты песчанистости, карбонатности, глинистости, выявляются фациальные замещения и стратиграфические перерывы.

На третьем этапе строятся региональные седиментационные модели, проводятся палеогеографические реконструкции, разрабатываются модели нефтегазоперспективных пластов, дается оценка качества коллекторов, определяются закономерности их пространственного размещения и выделяются связанные с неструктурными ловушками зоны развития резервуаров углеводородов.

Предлагаемая методика может использоваться при разработке седиментационных моделей и прогнозе неструктурных ловушек углеводородов в продуктивных комплексах нефтегазоносных провинций, она также открывает новые возможности для прогноза и поисков неструктурных объектов как в новых, так и в уже освоенных нефтегазоносных районах и способствует приросту углеводородного сырья в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гроссгейм, О.В. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа) / О.В. Гроссгейм, И.Л. Геращенко, О.В. Бескровная, Н.С. Окнова, Г.Ф. Рожков. — Л.: Недра, 1984. — 271 с.
2. Методические рекомендации по изучению и прогнозу коллекторов нефти и газа сложного типа / Под ред. М.Х. Булач, Л.Г. Белонской. — Л.: ВНИГРИ, 1989. — 103 с.
3. Муромцев, В.С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа / В.С. Муромцев. — Л.: Недра, 1984. — 259 с.
4. Неелов, А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород / А.Н. Неелов. — Л.: Наука, 1980. — 100 с.
5. Рожков, Г.Ф. Геологическая интерпретация гранулометрических параметров по данным дробного ситового анализа / Г.Ф. Рожков / Гранулометрический анализ в геологии. — М.: ГИН АН СССР, 1978. — С. 5–25.
6. Танинская, Н.В. Возможности геолого-геофизических методов для диагностики органогенных построек на примере месторождения имени А. Титова Тимано-Печорской провинции / Н.В. Танинская, Н.Я. Васильев, М.А. Мясникова, В.Н. Яшина // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2015. — Т. 10. — № 3. http://www.ngtp.ru/rub/4/34_2015.pdf.
7. Ханин, А.А. Породы — коллекторы нефти и газа и их изучение / А.А. Ханин. — М.: Недра, 1969. — 368 с.
8. Шиманский, В.В. Методические аспекты прогноза неструктурных ловушек углеводородов на примере юрско-меловых отложений Западной Сибири / В.В. Шиманский, Н.В. Танинская, Н.Н. Колпенская // Бюлл. Московского Общества Испытателей природы. Отд. Геология. — 2014. — Т. 89. — Вып. 4. — С. 24–39.
9. Dunham, R.J. Classification of carbonate rock according to depositional texture / R.J. Dunham, W.E. Ham ed. // Amer. Ass. Petrol. Geol. — 1962. — V. 1. — P. 108–121.
10. Pemberton, S.G., Shanley K., Dolson J. Core Description Manual for Siliciclastic Cores. For TNK-BP. Tyuman, Russian Federation, 2007. — 133 p.
11. Wilgus, C.K. Sea-Level Change: An Integrated Approach / C.K. Wilgus et al., eds. // Spec. Publ. Sec. Econ. Paleont. Mineral., 1988. — No. 42. — P. 407.

© Коллектив авторов, 2016

Шиманский Владимир Валентинович // shimvld@mail.ru
Танинская Надежда Владимировна // tannv@yandex.ru
Колпенская Наталья Николаевна // natkolp@mail.ru
Васильев Николай Яковлевич // vasillevnya@mail.ru
Низяева Ирина Сергеевна // nieva-irina@yandex.ru