

ГЛАВА 7

Некоторые дополнительные примеры

7.1. Формация черных сланцев и связанные с ними оползневые явления

Введение

Баженовская свита - один из основных маркеров в Западной Сибири; это - уникальный горизонт в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях, сколько-нибудь близкий интервал с точки зрения условий скорости и условий образования, площади распространения, с резкими отличиями от вмещающих пород и, соответственно, возможности выделения в разрезе отмечается только в верхнем мелу (кузнецовская свита) и, локально, в нижней юре (тогурская пачка). Отложения свиты так-же отличаются от других геологических образований в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты их сравнительно устойчивой толщиной, распространением на огромном пространстве, и аномально устойчивыми параметрами (очень высокое электрическое сопротивление, повышенная радиоактивность), определяемыми их битуминозностью. Породы подобного генезиса достаточно широко распространены в мире и относятся к т.н. **черным сланцам**.

На основании обобщения данных сейсморазведки и каротажа установлено, что на территории Уватского района развиты два типа разреза – «традиционный» и «аномальный»¹. В первом случае перспективы нефтегазоносности связываются с трещиноватыми разностями битуминозных сланцев, получивших в Западной Сибири название **бажениты**. Во втором – с песчано-алевритовыми осадками турбидитно-оползневого генезиса, внедрившимися в недоконсолидированные осадки баженовской свиты после завершения их накопления. Исходя из определенной связи указанных осадков с конусами выноса турбидитных потоков в придонной части (ачимовская пачка) было предложено их определение, как **конусов внедрения** (*intrusion fans*). На конференции Американской Ассоциации Геологов Нефтяников (AAPG) в г. Хьюстоне (март 2002 г.) это определение было подвергнуто критике, поскольку, имея единый источник осадочного материала явления существенно различаются как в собственно механизме формирования – свободное растекание в случае конусов выноса и внедрение под давлением в случае с АТР, так и в морфологии – во внедрившиеся тела элементы конусов выноса – лопасти, подводящие каналы и т.д., не выражены. В связи с этим, в дальнейших работах используется более нейтральный термин - **толщи внедрения** (*intrusion mass*), в полной мере отражающий представления авторов о механизме их формирования.

«Классический» (или «традиционный») тип баженовской свиты установлен, в основном, в северной части Уватского района, хотя имеет практически повсеместное развитие за исключением зон развития аномальных типов разреза (АТР), и в крайней западной части, где представлен 40-50-метровой толщей битуминозных сланцев. На западе свита частично теряет свою битуминозность и сливается с другими пачками в

¹ Аномальный тип разреза баженовской свиты –АТР

преимущественно глинистом разрезе. В большинстве вскрывших её скважин, она монолитна, однако в других скважинах можно видеть пачки тонкослоистых битуминозных глин, переслаивающихся с тонкими слоями песчаников и мелкоракучечных черных известняков, отражающихся на каротажных диаграммах сериями высокоомных пиков, чередующихся с более низкоомными породами.

7.1.1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

Черные аргиллиты, называемые часто также черными сланцами (black shales), вызывают заслуженное внимание различных специалистов на протяжении длительного времени. Одной из основных причин этого интереса является их доказанный генерационный потенциал и, в ряде случаев, промышленная нефте- и газоносность.

Термин «черные сланцы», практически повсеместно употребляется как аналог понятий «битуминозные» или «обогащенные органикой» аргиллиты (AGI). Его применение, как в отечественной, так и в зарубежной литературе стало практически свободным. Тайсон (Tyson, 1987) определял черные аргиллиты как «темно-цветные, мелкозернистые глинистые отложения с характерными чертами накопления в придонных водах в условиях кислородной обедненности или отсутствия кислорода». Применительно к образованиям баженовской свиты представляется разумным заменить термин «аргиллит» на «черный сланец». Это наиболее близкий по значению перевод понятия «black shales» в западной терминологии. Аргиллитами, здесь называются консолидированные породы, сложенные преимущественно глинистыми минералами, (тогурская и радомская толщи - это соответственно битуминозные или битуминозно-углистые черные аргиллиты). Специфичный состав (обилие карбонатов и силицитов) и структурные особенности (сланцеватость) баженовской свиты заставляют искать для её описания другой термин. Словарь Американского Геологического Университета (AGI) предлагает следующее толкование этого понятия: «темные, обычно очень тонкослоистые углистые сланцы, исключительно богатые ОВ и сульфидами железа (пиритом) и часто содержащие необычно высокие концентрации рассеянных элементов (U, V, Cu, Ni). Образуются в результате частичного анаэробного разложения захороненного органического вещества в восстановительной обстановке спокойных вод. Ископаемые организмы, главным образом планктон и нектон сохраняются в виде графитовой или углистой плёнки или в виде, сложенных пиритом псевдоморфоз».

Проблемы черных сланцев подробно изучаются за рубежом. Иностранные специалисты обладали рядом преимуществ, к которым следует относить 1) наличие хорошо задокументированных обнажений; 2) значительный объем материалов по вероятным современным аналогам, в том числе результатов глубоководного бурения, и 3) не прекращающуюся поддержку научно-исследовательских работ в этой области. Битуминозными аргиллитами занимаются: седиментологи, палеоокеанографы и палеоэкологи, палинологи, органические и неорганические геохимики и стратиграфы, однако, несмотря на объединенные усилия, черные сланцы остаются, в достаточной степени, геологической загадкой.

Ограническое вещество (ОВ)

Большинство осадочных пород содержит только следы органики, и в отличие от этого большинства, черные сланцы содержат значительное количество ОВ, особенно липидов. Следовательно, одним из основных вопросов является проблема их сохранения. Еще на ранних стадиях изучения сланцев, было замечено, что при отсутствии кислорода, разложение органики замедляется, а для изолированных внутренних морей, типа Чёрного характерно присутствие донных вод обедненных кислородом (Rompreckj, 1909; Woolnough, 1937). Соответственно, обстановка осадконакопления Чёрного моря и была принята как рабочая модель для формирования черных сланцев. По мере поступления нового материала, с неизбежностью пришлось признать, что это было неверное предположение. П.Вигнал (Wignall, P.B., 1994) ссылаясь на работы Тайсона (1987) выделяет пять факторов, контролирующих, по его мнению, сохранность органического вещества.

- **Структура и размер осадка**

Благодаря примерно одинаковым скоростям осаждения глинистые частицы и частички ОВ накапливаются в одних и тех же местах, преимущественно в отрицательных формах рельефа. Исключительно низкая проницаемость таких отложений оказывает положительный эффект на сохранность органики, т.к. снижает возможность контакта с возможными окислителями - кислородом и растворенными сульфатами.

- **2. Глубина бассейна седиментации**

Частички органического вещества, оседающие через толщу воды, подвергаются окислению. Следовательно, замедленное осаждение приводит к большему окислению ОВ, прежде чем оно осядет на дно. Время осаждения зависит от скорости перемешивания водного столба, размера и глубины бассейна, размера частичек и солёности. В общем случае это время меньше на мелководье, что послужило причиной возникновения серии мелководных моделей (Conant & Swanson, 1961; Zangler & Richradson, 1963; Convey 1991). Однако к настоящему времени подавляющее большинство ученых рассматривают черные сланцы как продукт глубоководного осадконакопления.

Относительная глубина образования баженовских сланцев может быть оценена исходя из мощности перекрывающего их неокотского клиноформного комплекса, при применении принципа миграции фаций Вальтера. В детально изученных разрезах Приобской, Ем-Еганской и Кальчинской площадей от мелководных осадков шельфа сланцы отделены отчетливо выраженными на каротажных материалах и в керне толщами уплотнения, что однозначно говорит об их глубоководном характере.

- **3. Скорость осаждения**

Мюллер и Суисс (Muller & Suess, 1979) предполагали, что высокие скорости осаждения повышают вероятность успешного захоронения ОВ, поскольку органические частицы быстро выносятся из приповерхностной зоны, где высока активность бактерий. Эти выводы были основаны на изучении современных отложений в окислительной среде, однако они находятся в противоречии с материалами ископаемых толщ. В работах Крини (Creany & Passey, 1993) было показано, что по сравнению со всеми остальными фациями, скорость осаждения черных сланцев была исключительно маленькой.

Ошманн (Oschmann, 1990) изучая годовые варвы, дал оценку в 10 см за тысячу лет, которая, по мнению Вигналла, для гемипелагических осадков все же слишком завышена. Кроме того, различные авторы подвергают сомнению сезонную природу слоистости в сланцах.

• 4. Образование и перенос ОВ

В общем случае, ОВ считают результатом сочетания деятельности фитопланктона, остатков наземной растительности и некоторых не до конца изученных бактерий. Существенный снос органики в морской бассейн установит в нём кислородное голодание в придонном слое, которое позволит сохраниться большей части ОВ. Некоторые исследователи называют такой процесс избыточный перегрузкой органики (organic overloading) (Demaison & Moore, 1980; Parrish, 1982). Практически при этом полагают, что поступающая в бассейн масса ОВ настолько избыточна, что перекрывает все возможности окислителей. Эта модель принципиально отличается от традиционных представлений, поскольку формирование бескислородного донного слоя, является результатом, а не причиной сохранения органики. На это прямо указывает в своей работе Калверт (Calvert, et.al., 1991): «условия кислородного обеднения в водяной массе, могут не являться необходимым предварительным условием для сохранения ОВ в морских осадках». Кроме того, в своей ранее опубликованной работе (1990) он приводит примеры более эффективного разложения органического вещества в обедненной кислородом среде по сравнению с обогащенной.

• 5. Окисление придонными водами

Пожалуй, единственное сходное положение во всех моделях формирования черных сланцев, это наличие обедненных кислородом или бескислородных водных масс. Меняются только приводящие к этому причины (ограничения циркуляции или избыток органики). Следовательно, определение уровней содержания кислорода в палео-обстановках, становится главной задачей при исследовании нефтематеринских толщ.

Обстановка осадконакопления

Наиболее яркой текстурной особенностью черных сланцев является их тонкая (мм - доли мм) слоистость (плитчатость). Слойки различного состава формируют пары, чередующиеся с прослоями микрита, силицитового материала и керогена. Слоистость, по определению, заключается в наличии очень тонких участков длина которых существенно превышает мощность. Типичные для черных сланцев структуры уплотнения представлены параллельно ориентированными таблитчатыми глинистыми частицами и керогеном, и строго говоря, не являются примером слоистости. Практически все черные сланцы содержат текстуры уплотнения, но далеко не все из них обладают, дополнительно ещё и тонкой слоистостью (М.С.Зонн, 1986). Связь выделяемых биофаций с обстановками накопления черных сланцев и некоторые их геохимические характеристики были классифицированы П.Вигналлом (Wignall, 1994; см. табл. 7.1).

Гемипелагические осадки

Большая часть материала алевритовой размерности переносится в глубоководные области, в виде пыли и турбидитных потоков - суспензий низкой плотности. Скорость

осаждения частиц из таких суспензий исключительно мала, и даже незначительной энергии потока достаточно, чтобы поддерживать их во взвешенном состоянии (Pryor, 1975). Очевидно, что только наиболее тяжелые компоненты, например фрамбониды пирита, обладают повышенной плотностью, и будут выпадать на морское дно. Глинистая составляющая выносятся из суспензии в виде пеллет (фекальные выделения зоопланктона) или улавливается студенистыми органическими мембранами (морской снег), скорость выпадения которых оценивается в 170 м/день в современных обстановках, и не менее 95 м/день в ископаемых (Arthur, 1984).

Пеллеты считаются особенно хорошими агентами для вывода терригенного и биогенного материала из суспензий. Дунбар и Бергер (Dunbar & Berger, 1981) приводят данные по бассейну Санта-Барбара, где наблюдалось выпадение более, чем 120 000 пеллет на квадратный метр в день, что составляло от 60 до 90% всего осажденного материала. В шлифах такие частицы представляют собой вытянутые линзочки до 2 мм длиной и 0,1-0,2 мм шириной. Морской снег состоит из аморфного желеобразного органического вещества, его размеры колеблются от 0,5 мм до 10 см, вероятно, имеющего различное происхождение.

Присутствие пикноклинов - контактов вод различной плотности, считают весьма типичным для обстановок накопления черных сланцев. Такие разделы могут оказывать существенно воздействие на гемипелагические обстановки, т.к., различные частицы нередко задерживаются на ней, формируя «хлопьеобразные» слои до нескольких метров (Mahoney, 1979). При достижении определенной концентрации и, соответственно, плотности эта масса прорывает пикноклин и выпадает на дно бассейна в виде «суспензионного шторма». В результате, на дне формируется тончайший покров, однако выпадение происходит слишком быстро, чтобы могла произойти гидродинамическая сортировка.

Турбидиты

Турбидитные течения с низкой плотностью и скоростью широко описываются в современных и ископаемых обстановках (Pickering, 1986; Stow & Shanmugan, 1980; Bouma 2001). Турбидитные осадки характеризуются четко выраженной слоистостью и ритмичным уменьшением средней размерности осадка к кровле. Собственно механизм формирования этих отложений служит предметом активных обсуждений, уже в течение более 20 лет. Интерес к турбидитам особенно возрос в последние несколько лет в связи с обнаружением в них крупных залежей углеводородов в Мексиканском заливе и некоторых других бассейнах. Пайпер (Piper, 1972) предполагал разделение осадка в результате донного переноса алевролитовых и слипания глинистых частиц. Согласно его представлениям многочисленные слойки возникают в результате колебаний концентрации глинистых частиц в основании потока.

Стоу и Боуэн (Stow & Bowen, 1978, 1980) отмечали, что критические значения скоростей выпадения из суспензии примерно одинаковы у частиц глинистой и алевролитовой размерности. Для того, чтобы получить разделение осадка, предлагался механизм, при котором хлопья глинистых частиц в основании турбидитного потока разбивались касательными напряжениями. «Обломки» при этом переходили в суспензионное состояние и, соответственно, осаждались только алевролиты. Находясь в суспензии, частицы слипались, пока не достигали критического размера. Осаждение глинистых хлопьев при этом происходило очень быстро, а в последующем переносе участвовали только неглинистые частицы. Такая модель объясняет многие

особенности наблюдаемые в сланцах, кроме присутствия некоторого количества глинистого вещества в алевролитах и, нередко, их линзовидного распределения.

Подобно гемипелагическим осадкам, турбидитные течения и переносимые ими осадки испытывают влияние границ раздела вод разной плотности. Если есть начальное разделение суспензии, или если турбидитное течение слабо, то при встрече с пикноклином, осадки начинают скользить вдоль него, разгружаясь «суспензионным каскадом» (McCave, 1972; Stanley & Maldonado, 1981; O'Brien, 1989).

Получаемые при этом осадки практически неотличимы от суспензионных штормов, и процессы при этом оказываются весьма схожими. «Оторвавшийся» турбидитный поток может откладывать осадки на значительно большей площади, чем нормальный – формирующий покровы гемипелагического типа. Однако, большинство турбидитных потоков обладает достаточной плотностью, они проходят сквозь водораздельные поверхности и могут на некоторое время повышать кислородосодержание донных слоев (Sholkovitz & Soutar, 1975).

Донные течения - контуристы

Донные течения глубокого моря хорошо изучены в современных обстановках, где они непрерывно переносят и переотлагают мелкозернистые осадки, формируя слои с характерными алевролитовыми прослоями и следами эрозии. Классическим примером ископаемых контуристов могут служить образования миссиссипского возраста Оклахомы, разрабатываемые для облицовки стен зданий². Контуристы редко выделяются в разрезах черных сланцев, что свидетельствует о том, что подобные течения были редкостью, хотя выдержанная ориентировка частиц, говорит об их периодических проявлениях.

Штормовые течения

Штормовое волнение и отливные течения являются основными механизмами переноса осадков в эпиконтинентальных морях (Aigner, 1985), поэтому представляется вероятным, что и на большую часть из известных нам черных сланцев, они оказывали существенное влияние. В качестве доказательства нередко приводится наличие тонких прослоев с аллохтонной фауной. Однако, хорошо задокументированные остатки двустворок в киммериджских сланцах (Великобритания), по общему мнению, являются результатом переотложения и соответственно – автохтонными (Aigner, 1980). Изредка встречаются следы промоин и полуконсолидированные обломки, значительно более распространены тонкие градационные прослои с резким контактом в подошве, осажженные из штормовых суспензий (Pedersen, 1985); в таких образованиях цикличность исключается, но в остальном их трудно отличить от турбидитов.

Полагают, что большая часть штормовых осадков, встречающихся в черных сланцах была отложена в результате эпизодических, исключительно крупных событий катастрофического типа. Более регулярные обычные штормы вызывали

² Ссылка на монографию по турбидитам

кратковременное повышение кислородного уровня и связанное с этим периодическое распространение морской фауны (Sageman, 1989).

Внутренние волнения

Присутствие поверхностей водных масс различной плотности может вызывать внутреннее волнение (Baird, 1987). В зоне пересечения поверхности пикноклина с морским дном, особенно при крутом склоне, такие волны могут вызывать смыв и эрозию осадка. Отмечались слои с переотложенными таким образом фосфатными и пиритовыми конкрециями, наиболее характерной чертой которых является их присутствие на краю зоны формирования чёрных сланцев. Исключительно художественно оформленная модель их формирования в результате внутренней волновой эрозии, предложенная Брайдом и Бреттом (Braid & Brett, 1991, приводится на рисунке (рис. 7.1).

Бактериальные плёнки

Бактериальные плёнки или покровы широко распространены в современных глубоководных обстановках, где они часто оказывают существенно воздействие на осадконакопление, задерживая переносимый материал и защищая нижележащие отложения от эрозии. В покрывах встречаются киано-бактерии фотосинтеза (сине-зелёные водоросли), однако наиболее типичными являются серные бактерии, чьи колонии, напоминающие губки встречаются практически повсеместно в областях кислородного голодания (Spies & Davis, 1979; Arnutz, 1991). Как следствие относительно небольшой области, где они могут существовать, такие покровы (маты) нередко формируют «оторочки» по краям бассейнов с недостатком кислорода.

Вклад бактериальных пленок в формирование черных сланцев изучен не до конца. Несмотря на повсеместное присутствие бактериальных плёнок в современных осадках, доказать их присутствие в ископаемых разрезах весьма затруднительно. В тонкозернистых известняках наличие радиальных трещин и сетчатых каёмок интерпретировалось как киано-бактериальный покров (Seilacher, 1985), однако этот пример считается исключением.

Заметная в шлифах полого-волнистая слоистость, часто интерпретируется как следы бактериальных покровов. Однако её более вероятное происхождение - результат дифференцированного уплотнения органического вещества вокруг обломочных частиц или карбонатных стяжений. По мнению Вигналла, значительное присутствие этих бактерий в современных бассейнах служит наиболее веским доказательством их существования и в прошлом.

Варвы

Одним из широко распространенных мнений является представление о сезонном (годовом) характере ритмичной слоистости в чёрных сланцах. Изучение изотопного состава углерода (C14) из тонких кокколитовых и обогащенных ОВ прослоев Чёрного

моря, показало, что предполагаемая скорость седиментации слишком высока, и что каждая пара - это результат, по крайней мере, трехлетнего накопления (Calvert, 1991). Это наиболее общая проблема - наблюдаемые слойки должны иметь мощность около 0,1 мм или выше, т.к. это приблизительно соответствует размерности слагающих их частиц. Соответственно, скорость осадконакопления составит более 10 см/1000 лет, а это на порядок выше, чем значения для остальных гемипелагических осадков (Wetzel, 1972). Мощности отдельных ритмически повторяющихся слойков в большинстве обнажений колеблется в пределах 0,5-3 мм, при этом их «возраст» оцененный по скоростям накопления составляет от 3 до 20 лет (Kemp, 1991).

Очень часто в черных сланцах видны удивительные по своему числу и разнообразию следы деформации мягкого осадка. Они особенно заметны на участках с тонкой слоистостью, где подчеркиваются различиями в цвете и составе. Практически всегда встречаются на участках обогащенных карбонатным материалом в виде трещин синерезиса. В слоях, обогащенных ОВ, свидетельством более интенсивной потери влаги, являются внутрiformационные конгломераты с вертикальными трещинами усыхания (Bander and Knitter, 1986; Wignall, 1989). Хотя изначально такие деформации считались результатом поверхностного выветривания (нефтяные сланцы штатов Юта и Вайоминг), их аналоги были описаны и в современных глубоководных обстановках (Wignall, 1989).

7. 1.2. ПРИМЕРЫ ИСКОПАЕМЫХ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

Анализ ископаемых обстановок осадконакопления свидетельствует об огромном разнообразии черных сланцев, что представляет ещё больше проблем, чем описание их современных фаций. Основной сложностью изучения возможных аналогов баженовских отложений, встречаемых в обнажениях, является их широкое площадное распространение. При этом большая часть данных указывает на то, что их формирование было возможно только в весьма специфичных условиях. Разрезы с черными сланцами встречаются в отложениях среднего ордовика, верхнего девона, верхнего и нижнего мела (G. de V.Klein). Артур (Arthur & Schlanger, 1979) изучая обнажения северной Америки и Европы пришел к выводу о том, что в течении мела было несколько периодов широкого распространения черных сланцев, которые совпадали с временем высокого стояния уровня моря. Эти крупные события были названы бескислородными периодами в океане (ОАЕ) и затрагивали осадки накапливающиеся на глубоководье, шельфе, пассивных склонах и иногда доходили до прибрежной зоны. Была отмечена устойчивая корреляция между колебаниями содержания органического углерода, региональной эвстатикой и периодами ОАЕ. К таким же заключениям пришли Клемме и Ульмишек (1989), которые показали, что максимальные мощности чёрных сланцев накапливались в фанерозое течении шести основных промежутков: среднем и верхнем силуре, верхнем девоне, верхнем карбоне (пенсильванский период), нижней перми, юре, мелу и эоцене. Все эти периоды так же известны как времена максимального затопления и высокого стояния уровня моря (Вэйл, 1977).

Сеноман-туронский безкислородный период. Модель распространения зоны минимального содержания кислорода.

После обработки материалов Проекта Глубоководного Бурения (DSDP) стало очевидным, что в отличие от современных осадков, в бассейнах мелового периода накапливалось значительное количество органического вещества. Было выделено два, сравнительно коротких отрезка: апт-альб и сеноман-турон, когда отложение черных сланцев происходило на исключительно обширных территориях, причём оба эти события связаны с максимальным подъемом уровня моря. Шлангер и Дженкинс (Schlanger & Jenkyns) дали им название безкислородных периодами в океане (OAE), и предположили, что большая часть черных сланцев была накоплена в результате интенсификации и расширения влияния области минимального кислородосодержания (OMZ). Сланцы сеноман-туронских осадков, являются наиболее представительными и могут считаться хорошим примером такого явления (рис. 7.3). В это время черные сланцы формировались на обширных территориях в северной, центральной и южной Атлантике. Существенно обогащенные органикой отложения, отмечены так же в акватории Тихого океана, на склонах и выступах нескольких подводных положительных структур: хребет Шатского, подъемы Хесса и Магеллана. При этом формировались осадки различного типа, однако во всех отмечается повышенное содержание суммарного органического углерода (TOC).

Вигнал П.Б. (Wignall, P.B.) приводит несколько доказательств, свидетельствующих в пользу модели расширения, при одновременном повышении интенсификации образования ОБ:

1. Наиболее хорошо черные сланцы развиты, а их формирование продолжалось дольше всего, вдоль восточного склона Атлантики, где совпало с расширением зоны влияния области минимального кислородосодержания (OMZ), связанным с поднятием побережья;
2. Часто встречаются остатки радиолярий типичных для активных поверхностных вод;
3. Преимущественное распространение сланцев на участках средней, а не максимальной глубинности;
4. Присутствие черных сланцев на возвышениях в Тихом океане, например на поднятии Хесс (Артур, Arthur et.al., 1987). Начальная интерпретация предполагала длительный период накопления в пределах возвышения, однако детальный анализ биозональности показал, что они сформировались во время серии сравнительно коротких событий, связанных с повышениями уровня моря (Silter, 1989; рис. 2).

Глобальный характер этих событий был подтвержден изотопными анализами углерода, указывающими на его повышенное содержание в морских известняках. Отдельные следы так же обнаруживаются в отложениях эпиконтинентальных морей, например западное побережье США и Северное Море, где формирование черных сланцев совпало по времени с событиями в океане. Начальная оценка продолжительности этих событий составляла 14 млн. лет, однако современные датировки значительно сузили временные границы. Так основной период накопления черных сланцев в океане составлял около миллиона лет, а в некоторых эпиконтинентальных морях и того меньше - до 100 000 лет (Gale, 1989). Во втором случае, накопление сланцев начиналось в наиболее глубокой части бассейна,

постепенно распространяясь на его края. Для описания формирования толщ черных сланцев в пределах изолированного эпиконтинентального бассейна была разработана «плотностная» модель (Wignall P.B., 1994; рис. 7.4). Возможная модификация модели, связана либо с предпочтением теории избыточного образования ОВ, либо с исключительно хорошим его сохранением. В поддержку этой модели выступал Брумсак (Brumsak, 1986, 1989), который установил, что микроэлементный состав сеноман-туронских сланцев сходен с осадками Черного моря, типичного изолированного бассейна, но отличаются от океанических отложений расположенных ниже зоны апвеллинга.

Киммериджские глины, Европа

Верхняя юра на территории современной Европы была отмечена длительным и обширным периодом накопления черных сланцев, из которых самыми известными являются киммериджские осадки (Hallam, 1979). В отличие от сеноман-туронских отложений, их накопление происходило исключительно в закрытых эпиконтинентальных и шельфовых обстановках и, в основном, было сосредоточено в многочисленных грабенах и мини-бассейнах, сформированных во время стадии киммериджского рифтинга. Накопление осадков в Тетисе и Атлантике, происходило в условиях активного кислородного обмена, что привело к формированию разнообразных аргиллитов и известняков с пониженным содержанием органики (Winter & Bosellini, 1981; Ogg et al., 1983). Киммериджские глины изучались весьма детально и последовательно, поскольку их считали основной нефтематеринской толщей в Северном море (Fuller, 1975). Они сложены различными аргиллитами и богатыми органикой сланцами, характеризуются высоким содержанием аутигенного урана, который вызывает повышение показаний гамма-каротажа. Суммарное содержание органического углерода не превышает 15% и отчетливо возрастает к депоцентрам, ОВ состоит из аморфных органических частичек, вероятно морского происхождения.

В грабене Викинг процесс рифтинга начался в оксфорде. Первые черные сланцы сначала были отложены в его центральной части, а затем стали распространяться вдоль палеоосей грабена. В Центральном грабене киммериджские глины не формировались практически до конца верней юры. В сторону бортов депрессий они начинают переслаиваться с песчаными и алевро-песчаными турбидитами и брекчиями, поступающими в результате подводных оползней (Wignall P.B. & Pickering, 1993) (рис. 7.5). В верхнем киммеридже, обозначаемом на стратиграфических схемах как Eudoxus Zone, черные сланцы распространились на значительной территории и налегали на борта депрессий. Это событие соответствует главной морской трансгрессии и прослеживается от южной Европы до Гренландии (Wignall P.B., 1991). Поскольку эта трансгрессия наложилась на локальную синрифтовую фазу, она, вероятно, является следствием глобального (эвстатического) повышения уровня моря. Распространение зон накопления черных сланцев существенно сократилось к завершению юрского периода, однако их формирование продолжалось в наиболее погруженных участках Центрального и грабена Викинг, вплоть до середины рязанского яруса, когда они резко заместились на обедненные ОВ мергели и глинистые известняки.

В обнажениях черные сланцы киммериджского возраста следуют такой же последовательности: появляясь сначала в центральной, наиболее погруженной части и резко распространяясь в период Eudoxus Zone. В средней части этих отложений латеральная выдержанность отдельных элементов значительно лучше, чем в любой другой отрезок юры в Англии и может вызывать удивление (Gallois & Medd, 1979). Область накопления черных сланцев стремительно сократилась в начале волжского яруса, когда снова ограничивалась только наиболее депрессионными частями. Основываясь на анализе глинистых минералов Вигналл и Раффел (1990) пришли к выводу, что переход от гумидного к семи-аридному климату и накоплению карбонатов произошел пока сланцы все еще накапливались в депоцентрах южной Англии. В отличие от массивных сланцев Северного моря, Киммериджские глины, изученные в обнажениях характеризуются циклическим, тонко-слоистым строением. Отдельные пары слоев состоят из чередования аргиллитов, обогащенных органикой сланцев и изредка - кокколитовых известняков. В сланцах, содержание органического углерода (ТОС), может достигать в исключительных случаях величины в 50%, а в аргиллитах не превышает 10%. Данные палеоэкологов свидетельствуют о том, что сланцы формировались в донных, более или менее постоянно обедненных кислородом или бескислородных условиях. В отличие от сланцев, аргиллиты были отложены в водах с недостаточным кислородным обменом, которые позволили организмам существенно перерабатывать осадок. Эти различия в условиях сказались и на распределении ОБ, которое хуже сохранялось при биотурбации (Tyson, 1989). Анализ состава органического вещества представленного, в основном, аморфными частицами, так-же свидетельствует о том, что привнос с континента был минимален.

Согласно модели формирования киммериджских глин, предложенной Ошманном (Oschmann, 1988, рис.7.6), холодные воды северной Атлантики с пониженным содержанием кислорода циркулируют, нагреваясь и обогащаясь кислородом в верхних слоях (рис. 5). Полностью противоположную точку зрения высказывал Миллер (Miller, 1979), согласно которой теплые соленые воды располагались внизу, а более пресные - сверху. В этом случае стратификация являлась результатом различий в солености и плотности, а не температур.

Свита Грин Ривер (Green River), Вайоминг

Озёрные отложения эоценового возраста свиты Грин Ривер содержат наиболее знаменитые на территории Америки битуминозные сланцы (часто называемые нефтяными). Их детальная характеристика, которую дал в своем фундаментальном труде В.Х. Бредли (W.H. Bradley, 1966), дополнялась затем многими геологами. Весьма примечательным являются колебания в оценке палеоглубин этих отложений - от десятков метров (в модели застойного озера) до миллиметров (модель озеро-плайя, см. рис. 7.7.).

Свита Грин Ривер была сформирована в приблизительно километровой толще заполнения озера Госайт (Gosuite), которое в течение четырех миллионов лет располагалось на северо-востоке штата Юта и западе штата Вайоминг. Существенное количество органики (керогена) содержится в трех основных литофациях: 1) однородные аргиллиты, обогащенные ОБ, переслаивающиеся с доломитовыми аргиллитами и песчаниками; 2) тонкие нефтеносные сланцы, чередующиеся с прослоями натриевых солей; и 3) наиболее мощные и богатые ОБ сланцы,

чередующиеся с строматолитовыми известняками и доломитом. Такие осадки очень похожи на образования современных стратифицированных (застойных) озер, что и послужило основой для модели Бойера (Boyer, 1982). Другие исследователи (Eugster & Surdam, 1973) обнаружили многочисленные трещины усыхания и брекчии, сложенные глинистыми обломками. Согласно их концепции нефтяные сланцы накапливались из органических остатков, которые переносились в озеро с окаймляющей его плайи (пляжа) во время половодий (рис. 6). В последующие годы труде В.Х. Бредли частично согласился с их доводами, признав, что временное пересыхание озера и «мумификация» водорослевого ила могут быть причиной исключительной сохранности липидной органики. Сочетание высокой степени солёности вод и их повышенной щёлочности, подразумеваемые для условий плайи, так-же могут быть достаточными для существенного замедления разложения липидов бактериями.

Однако, в 1983 г. Смуут (Smoot) дал другую интерпретацию, описав полигональные трещины как результат синерезиса бактериальных покровов. На возможность такой природы текстурных особенностей, указывал и П.Б. Вигналл, отмечавший их развитие в киммериджских глинах, которые очевидным образом являются глубоководными отложениями. Согласно его мнению такие трещины могут являться результатом обезвоживания богатого органикой осадка, и образовываться без какого-либо испарения.

Близкую к модели «озеро-плайя» модель предложили Киркланд и Эванс (Kirkland & Evans, 1981). Модель формирования черных сланцев в эвапоритовом бассейне основана на идее отрицательного водяного баланса, типичного для засоленных лагун. Солёность поверхностных вод постоянно повышается, благодаря интенсивному испарению. При этом на внешнем склоне откладываются, черные сланцы и эвапориты, на внутреннем - преимущественно эвапориты, а в центре - смесь карбонатов богатых органикой (рис.7.8).

7.1.3. ВОЗМОЖНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛОГИ

Многие проблемы с интерпретацией ископаемых черных сланцев, связаны с отсутствием их прямых аналогов в современных условиях. Большая часть случаев, описанных в литературе, связана с отложениями в депоцентрах эпиконтинентальных морей. В настоящее время таких водоемов осталось немного, а обширные области шельфа не позволяют накапливать осадки с повышенным содержанием углерода. Тем не менее, описано несколько случаев, в которых наблюдаются процессы формирования обогащенных органикой осадков. Понимание последовательности этих процессов и их результатов дает некоторые диагностические признаки для их распознавания в геологическом прошлом (принцип актуализма).

Черное Море. Модель стратифицированного застойного бассейна

На сегодняшний день Черное море представляет собой наиболее крупный в мире бассейн с накоплением осадков в безкислородных условиях. Не удивительно, что в

течение многих лет (начиная с Помпески - Pompesckj, 1900) именно оно рассматривалось как наилучший аналог обстановок ископаемых черных сланцев. Бассейн практически изолирован, т.к. его соединение со Средиземным морем, через Босфорский пролив и шлюзы, представляет собой извилистый канал местами глубиной менее 30 м. С севера в Черное море поступает значительное количество пресной воды из многочисленных рек, а с юга - морские воды средиземноморья. Согласно имеющимся оценкам Черное море обладает отрицательным водным балансом - его ежегодно покидает примерно 340 км^3 солоноватой воды, и только 176 км^3 от этого объема восполняется донными морскими водами, попадающими в него через Босфор (рис. 7.9). В результате изменения в плотности вод различной солености, на глубине в 200 м образован отчетливый галоклин - поверхность разделяющая эти массы. Такое разделение существенно ограничивает кислородообмен и проникновение обогащенных кислородом приповерхностных вод на глубину. Латеральное перемешивание так же затруднено, поскольку количество поступающей в бассейн воды незначительно по сравнению с объемом бассейна. Циркуляция вод исключительно вялая и, по некоторым оценкам (Brumsak, 1989), потребуются не менее тысячи лет, чтобы полностью перемешать нижний столб воды.

В результате сочетания вялой циркуляции и среднего уровня в потребности кислорода для разлагающейся и оседающей органики, нижние массы воды существенно обеднены O_2 и содержат в свободном виде сероводород (H_2S), что является прямым доказательством сугубо застойных условий. Осадки, которые накапливаются в наиболее погруженных участках Черного моря, представлены кремниевыми обломочными турбидитами (Lyons & Berner, 1992), чередующимися с тонкослоистыми, обогащенными органикой известняками (Burkley, 1970). Карбонаты образуются в основном из кокколитофорид, расцвет которых связывают с перемешиванием питательных веществ, а морское ОВ получено фотосинтезом анаэробных бактерий, живущих в верхних слоях воды. Их массовый расцвет и отмирание связаны с сезонными колебаниями температуры. При этом зимний период представлен слоем более темного цвета, в то время как весенне-летний сезон характеризуется более светлым осадком. Альтернативным механизмом образования слоистости может являться расцвет диатомовых водорослей весной и кокколитофорид - летом (Sinninghe Damste, 1993). В обеих интерпретациях полагают, что тонкая слоистость напрямую связана с сезонными колебаниями и может быть использована для детального хроностратиграфического анализа.

Эту точку зрения подвергают сомнению исследователи, опирающиеся на изотопные данные (Degens & Stoffers, 1980; Calvert, 1991; Lyons & Berner, 1992). Согласно их интерпретации «сезонная» слоистость является результатом отложения, в среднем, периода в три и более лет, а циклы расцвета фитопланктона ещё больше - до 20 лет. Таким образом полагают, что пелагическое осадконакопление в голоцене было быстрым и эпизодическим. В настоящее время в Черном море происходит осаждение тонкослоистых известняков кокколитонового состава, однако значительно более приемлемым аналогом для оценки условий формирования черных сланцев является накопление в погруженных частях сапропелевых осадков, происходившее в середине голоценового периода (Tyson, 1979).

Две модели были предложены, для описания условий формирования отложений среднего голоцена - Страховым в 1971 г., и Дьюсером (Deuser) в 1974 г. Страхов и его

многочисленные последователи рассматривают накопление сапропелевых масс, как результат резкого повышения «продуктивности» вод. В начальной стадии, в бассейн поступали питательные вещества, которые концентрировались в нижней, обедненной кислородом части и сохранялись. По мере поступления новых масс вещества, его уровень повышался, пока не достигал некой критической отметки, за которой он «провоцировал» переработку и резкое повышение продуктивности ОВ, которое оседало на дно бассейна. Согласно этому механизму, существенные количества ОВ в сапропелевых глинах накапливались в условиях обогащенного кислородом столба воды.

Согласно версии, предложенной Дьюсером, приток соленых в бассейн Черного моря, создал застойные участки в депрессионных частях, которые постепенно расширялись, доходя до склонов. Нижняя часть водяных масс отделена от поверхности, перемешивание ниже галоклина минимально, что и приводит к формированию застойных условий. При этом резко возрастает сохранность органического углерода глубоководных осадков. Изменения в скорости формирования ТОС не считаются сколько-нибудь существенными, хотя уменьшение мощности верхнего слоя с питательными веществами, может привести к снижению осаждения ОВ.

В морских условиях и йод и бром входят в состав органического вещества, в условиях кислородного голодания соотношение I/Br оказывается заниженным, поскольку количество ионов йода уменьшается а на содержание брома эти изменения не сказываются. Проведя измерения I/Br Калверт (Calvert, 1990) пришел к выводу, что во время формирования сапропелевой толщи весь водяной столб был с нормальным количеством растворенного кислорода. Он так же отметил, что некоторые слои в сапропелевой толще характеризуются повышенным содержанием марганца (Mn), что было проинтерпретировано им как результат выпадения MnO_2 , которое так же характерно для обогащенных кислородом вод. П.Б. Вигналл, однако, высказывает предположение о существовании обогащенных металлами «микротурбидитов», которые переносили осадок с обогащенных кислородом склонов на дно бассейна. Детальный литологический анализ этих отложений указывает, что они а) очень тонкослоистые и б) не содержат *in situ* бентосных форм, которые бы указывали на среду с кислородным голоданием (таблица 7.2).

По сравнению с современными обстановками Черного моря, большая часть ископаемых сланцев древних эпиконтинентальных морей, вероятно, была отложена в более мелководных условиях и при значительно больших соотношениях ширина/глубина бассейна. Соответственно, на традиционные 10000-летние колебания условий связанные с эвстатикой и климатом, накладывались штормовые события, происходившие значительно более часто (P.B. Wignall, 1989).

Прибрежные бассейны с температурной стратификацией. Зоны кислородного минимума и зоны апвеллинга

Большая часть современных мелководно-морских осадков накапливается не в изолированных эпиконтинентальных морях, которые наиболее благоприятны для формирования осадка обогащенного органикой, а в зоне шельфа. Однако в своих работах Тайсон и Пирсон (Tyson & Pearson, 1991) предполагают, что шельфовые

условия так же можно использовать для моделирования накопления черных сланцев. Связанная с сезонными изменениями температурная стратификация таких бассейнов, может совпадать с недостатком кислорода в донных водах. В зимние периоды, водная масса сильно перемешивается различными штормами и течениями; продуктивность генерации ОВ низкая, т.к. в перемешанных слоях воды большая часть фитопланктона опускается ниже критической границы и погибает. По мере приближения весны, турбулентное перемешивание ограничивается только верхними слоями, и формирование термоклина дополнительно изолирует донные воды от получения кислорода, поэтому к наступлению летних месяцев, нижние слои воды нередко оказываются в условиях кислородного голодания.

Распространение безкислородных условий зависит от нескольких факторов: постоянного поступления значительных масс органики, интенсивности пикноклина, начального содержания кислорода в донных массах и их объема, продолжительности периода температурной стратификации. Такой набор разнообразных условий делал систему, в которой откладывались органические осадки исключительно «чувствительной» к самым незначительным колебаниям. Согласно (Tyson & Pearson, 1991) в геологическом прошлом в пределах прибрежных бассейнов существовали условия для накопления осадков в безкислородных или обедненных кислородом водах. Согласно этой модели, глубина термоклина меняется от 10 м. до 40 м. и, следовательно, черные сланцы осаждались на больших глубинах. Галоклин мог присутствовать как в мелководной, так и в глубоководной частях, но его присутствие в современных обстановках, оказывает только локальное воздействие. Они также полагали, что черные сланцы отлагались в пониженных частях дна бассейна, где накопленное значительное количество глинистого материала и органических частиц, находящихся во взвешенном состоянии, могли привести к нехватке кислорода.

В условиях открытого шельфа, воды с нехваткой кислорода формируются сначала на относительном мелководье, где объем воды под поверхностью термоклина сравнительно невелик, и он может истощиться значительно быстрее, чем в глубоководных областях (Armstrong, 1979; Stachowitsch, 1991). Это происходит под влиянием сезонных колебаний и находит свое отражение в соответствующем распределении фаций: 1) мелководных аэробных осадки, сформировавшиеся выше пикноклина; 2) анаэробные осадки, средней глубинности, расположенные ниже термоклина; 3) глубоководные осадки, испытывающие меньше влияния летнего обеднения благодаря своему значительному объему. Модель, учитывающая сезонные колебания при формировании сланцев выглядит весьма привлекательно, и позволяет использовать интерпретации многих специалистов, указывавших на мелководный характер накопления черных сланцев (O'Brien, 1990; Banerjee & Kidwell, 1991; Pasley, 1991).

Однако, существует определенный набор контраргументов (P.B. Wignall, 1994, [9]): 1). В современных обстановках открытого шельфа не обнаружено черных, глинистых осадков, обогащенных ОВ; 2). Представляется маловероятным сохранение тонкой слоистости осадка, сформированного в водах, периодически обогащающихся растворенным кислородом. При этом обязательно должны быть следы биотурбации; 3). Часто отмечаемое обогащение черных сланцев аутигенным ураном (U), не будет происходить в случае, если донные воды периодически обогащались кислородом, поскольку в присутствии O_2 ионы урана очень быстро выводятся из раствора

(Andersen, 1989). Радиоактивность, обусловленная высоким содержанием урана, вероятно, связана с углублением бассейна осадконакопления, в поверхностной части которого были условия для развития различных форм органики, а в придонной - для восстановления и выпадения в осадок растворенных форм урана.

В общем случае, современные океанические массы обогащены кислородом; особенно это характерно для нижних слоев, куда поступают холодные воды Антарктики. Следовательно, океаны не могут являться хорошим аналогом для изучения обстановок накопления черных сланцев. Тем не менее, воды, расположенные на глубинах 500 - 2000 м., характеризуются понижением уровня растворенного кислорода (Southam, 1982). Эта зона, названная «зоной минимального кислорода», образуется в результате нехватки окислителя требующегося для разложения выпадающей органики. (см. рисунок 2) Ее кровля³, зависит от скорости конвекции обогащенных кислородом поверхностных вод и меняется, для различных бассейнов, незначительно. Положение нижней границы определяется скоростью восходящих течений, несущих холодные и обогащенные кислородом воды и может существенно меняться.

Не исключается, что черные сланцы могли формироваться в условиях шельфа, хотя мы и не встречаем их аналогов в современных отложениях (Brass, 1982). Зоны OMZ, которые наблюдаются сегодня, как правило, недостаточно интенсивны, чтобы в них появились участки кислородного голодания. Однако в геологическом прошлом, до эпохи ледников, глубокие воды океанов могли быть теплее и содержать меньше кислорода, а OMZ участки быть более ярко выраженными и мощнее. Анализ распространения зон минимального содержания кислорода становится актуальным в ситуациях, когда поднимающиеся вверх холодные массы несут существенное количество питательных веществ, соответственно создают нехватку кислорода в средних слоях воды. Безкислородные или существенно обедненные фации откладываются на пересечении минимальной зоны и верхнего склона, а иногда и мелководного шельфа, и по некоторым данным могут подниматься до отметки в 50 м. Этот механизм формирования «аномальных» баженовских разрезов описывал В.Ф.Гришкевич (13), когда геохимические фации ставились в прямую зависимость от их циклостратиграфического положения. Такая ситуация является исключительно чувствительной к малейшим изменениям условий, кроме того, сходный механизм седиментации наблюдался и при формировании других толщ, как на территории Западной Сибири, так и в других НГБ, однако черные сланцы в них не встречены.

Органические частички могут скапливаться в условиях пониженных скоростей течений, связанных с переносом глинисто-компоненты. Как описывал Пискиотто (Pisciotta & Garrison, 1981), силицитовый планктон развивается в условиях обогащения вод питательными веществами, причем диатомовые разности тяготеют к высоким широтам, а радиолярии - к низким. Накопление осадков выше и ниже зоны минимального кислорода отмечается повышенным содержанием фосфатов, а при длительной переработке течениями образовывать фосфоритовые конкреции. Описание примеров из современной Атлантики находится в работах Демейсона и Логхмана (Demaison & Moogé, 1980; Loughman, 1984). Накопление ОБ в такой обстановке - результат повышения продуктивности в условиях активной циркуляции, а нехватка кислорода создается исключительно быстрым выпадением органики.

³ В иностранной литературе используется аббревиатура «OMZ»;

Считается, что черные сланцы, сформированные в условиях восходящих потоков, должны быть ограничены в своем распространении областями высоких широт и западных окраин континентов. Седиментация с нехваткой кислорода ниже зон апвеллинга, тяготеет к вытянутым узким зонам, параллельным береговой линии, однако это противоречит практически всем примерам известных нам на сегодня ископаемых черных сланцев, для которых характерным является покровное распространение. Активизация восходящих течений является результатом повышение гидродинамической обстановки, поэтому отложение обогащенных органикой пород должно совпадать с этой активизацией. На практике мы наблюдаем обратное: формирование черных сланцев происходит в застойные периоды с исключительно низкими скоростями течений. Механизм апвеллинга так-же предполагает тесную парагенетическую связь сланцев, глинистых известняков (диатомитов и радиоляритов) и фосфоритов. Однако найти такое сочетание в описаниях обнажений исключительно трудно. П.Б. Вигналл (P.B. Wignall, 1994) ссылается на два известных ему примера: в юрских отложениях, свита Арамаху (Перу), - по материалам Лоугмана (Loughman, 1984); и свита Фосфория, пермского возраста - на западном побережье США (данные Maughan, 1984).

Несмотря на значительное число противоречий, много авторы считают, что при формировании большей части ископаемых черных сланцев восходящие потоки играли решающую роль.

Озера и лагуны

Так-же как и в морских условиях, в озерных водоемах уровень кислорода контролируется его поступлением и уровнем потребности для окисления (т.е. зависит от продуктивности поверхностных вод). Практически все озера умеренных и высоких широт содержат исключительно богатые кислородом воды, в основном, благодаря формированию в зимние периоды холодных, обогащенных O_2 масс, которые опускаются на дно, вызывая перемешивание. В условиях низких широт, где сезонные колебания температур значительно меньше, термальная стратификация вод более выражена. В условиях обильной генерации ОВ, в донном слое могут формироваться обстановки кислородного голодания (Demaisom & Moore, 1980).

Озера с водами, обедненными кислородом создают наилучшие условия для сохранения органического вещества и практически все углеводороды первого типа (I) имеют озерно-болотное происхождение. Для успешного сохранения ОВ необходимо отсутствие бактерий поглощающих сульфат, это является гарантией того, что после использования кислорода, на процесс окисления органики будет оказывать влияние только незначительное метанообразование (Kelts, 1988). К настоящему времени влияние скорости осаждения на качество генерационного потенциала формируемой толщи остается невыясненным. Очевидно, что высокая скорость привноса ОВ создает предпочтительные условия для формирования черных сланцев, однако неизбежное при этом добавление к органической взвеси глинистых и/или алевролитовых частиц несомненно ухудшат потенциал (Katz, 1988; Powell, 1986). В любом случае, геологические условия озерных водоемов, без труда могут быть охарактеризованы как

исключительно благоприятные для сохранения органики и уверенно распознаваться по биомаркерам (Volkman, 1988).

Скорость образования ОВ в лагунах обычно очень высока, что нередко приводит к нехватке кислорода в придонных водах; это особенно характерно для средне- и сильно-засолоненных лагун (Kirkland & Evans, 1981). Кроме того, целый ряд исследователей считает, что наблюдаемый в лагунах механизм циркуляции можно использовать для моделирования процессов, связанных с формированием обогащенных ОВ сланцев и в бассейнах значительно большего размера. Такой подход успешно использовался при анализе нефтематеринских свит ряда районов Ближнего Востока, подавляющее большинство которых связывается с озерно-лагунным генезисом.

Засолоненные лагуны обладают удовлетворительными условиями для накопления богатых ОВ толщ. Они характеризуются высокой продуктивностью вод, генерирующих органику и весьма незначительным привносом обломочного материала, а так-же практически отсутствием (в сильно соленых водах) сульфатопотребляющих бактерий. Благодаря интенсивному испарению с поверхности в лагуны постоянно поступает свежая морская вода, обеспечивающая приток питательных веществ для фитопланктона. Несмотря на увеличение плотности вод поверхностного слоя, они не перемешиваются с донными массами, поскольку последние имеют еще большее содержание соли. Такая ситуация приводит к четкой стратификации формируемых отложений, при которой черные сланцы откладываются в депоцентре, а эвапоритовые фации по периферии. Хорошим современным аналогом такой ситуации служат, согласно описанию (Demaison & Moore, 1980) бассейны Средиземного моря с отрицательным водным балансом.

Описания современных обстановок осадконакопления заставляет признать факт отсутствия в них условий для формирования прямых фациальных аналогов черных сланцев, однако позволяют яснее понять механизм некоторых процессов, приведших к их образованию. Модель стратифицированного бассейна является вполне пригодной для характеристики многих ископаемых примеров, но Черное море не может считаться таковым. Многочисленные современные примеры формирования богатых органикой отложений зон апвеллинга, так-же редко встречаются в ископаемых разрезах.

7.1.4. ОТЛОЖЕНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Отложения свиты развиты на всей центральной части Западно-Сибирского НГБ - по данным глубокого бурения и регионального сейсмопрофилирования площадь распространения указанных отложений оценивается более чем в 1 млн км², а глубина залегания меняется от 650 м в окраинных зонах до 3700 м в центральной части плиты [15]. Свита является хорошим маркером и в разрезах большинства скважин центральных районов четко выделяется на каротажных диаграммах в виде реперной пачки резко повышенных значений удельных сопротивлений и аномальной естественной радиоактивности. Здесь баженовская битуминозная пачка толщиной до 40 м перекрывается песчано-глинистыми клиноформными отложениями различных подразделений нижнего мела, что однозначно установлено по материалам

сейсмических работ, детальной корреляции каротажных разрезов, и палеонтологическим данным. В большинстве случаев роль перехода играет маломощная невыдержанная пачка небитуминозных т.н. подачимовских глин. Западнее центрального поля развития пород баженовской свиты битуминозные аргиллиты, приуроченные к пограничным слоям юры и мела, выделены в тутлеймскую свиту (волжский ярус - нижний готерив), а на востоке Шаимского района - в мулымьинскую свиту (верхи волжского яруса – готерив). М.С. Месежников вслед за Г.К. Боярских и Х.А. Иштиряковой полагает более логичным рассматривать все три подразделения в качестве одной баженовской свиты [16]. Г.С. Ясович с соавторами отмечает, что по данным М.С. Месежникова, и др. стратиграфический объем битуминозной баженовской свиты в целом растет с востока на запад, от нижне-средневолжского до средневолжско-готеривского. Л.Ш. Гиршгорн (1985) отмечал, что по направлению от периферии к центру бассейна происходит закономерное периодическое повышение стратиграфического уровня основного отражающего горизонта Б, связанного с битуминозными баженовскими аргиллитами, которые представляют собой глубоководные окончания серии генетически взаимосвязанных седиментационных комплексов неокома, последовательно омолаживающихся по латерали к центру бассейна.

Баженовские битуминозные глины чаще всего залегают на глинистых отложениях абалакской (в западных и северных районах бассейна) или георгиевской свит. К последней в большинстве разрезов относят небольшую по толщине, редко превышающую 3-8 м глинистую пачку, которая отделяет баженовскую свиту от верхнеюрского продуктивного горизонта Ю1 васюганской свиты, являющегося достаточно надежным коррелятивом. На сейсмических временных разрезах отложения георгиевской, верхней части абалакской и васюганской свит, как правило, не дают самостоятельных отражений, формируя единый с породами баженовской свиты самый значимый и коррелируемый отражающий горизонт Б. При этом исследования керн показывают существенную изменчивость ее состава по площади распространения. Состав глинистой компоненты представлен гидрослюдой (60-65%) и смешанно-слоистыми образованиями ряда гидрослюда-монтмориллонит/каолинит. В южных районах в качестве второстепенных минералов присутствуют хлорит и каолинит (Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., 1986). Содержание хлорита, в целом, закономерно возрастает по мере удаления от основного (юго-восточного) источника сноса. В разрезах скважин 101-Р Пурпейской площади и 30-Р Вэнгяхинской отмечены прослои оолитовых известняков с глауконитом, в которых некоторые полости были выполнены органическим веществом. Вероятно, внедрение холодных вод со стороны современной Арктики вызывало массовую гибель теплолюбивых разностей кокколитофорид, сине-зеленых известковистых водорослей и некоторых видов радиолярий (Губкинская и Вэнгяхинская площади). Известковистость связана с присутствием прослоев аргиллитов, насыщенных мелкозернистым кальцитом, и маломощными (2-5 мм) прослоями мелкозернистых хемогенных известняков. Окремнение в баженовской свите было обусловлено двумя факторами: биогенным, т.е. высоким содержанием кремнистых скелетов радиолярий и хемогенным: связанным с процессами аутигенного минералообразования. Во втором случае кремнезем наблюдается в виде выделений халцедона неправильной формы, совместно с пиритом и глауконитом.

По данным Р.А. Коньшевой, наряду с обнаруженным диатомовым материалом (остатки водорослей), исследования, выполненные на РЭМ (электронная

микроскопия), позволили установить присутствие вулканогенного материала. Прямым доказательством этого факта явилось обнаружение пепловых частиц различной морфологии и размеров. На Северо-Варьеганской площади отмечалось широкое развитие «ячеисто-пятнистых» участков с микрожеодками в которых присутствуют цеолиты, отмечались свежие чешуйки слюды (биотита) удлиненной формы с хорошо выраженной спайностью и четкими ровными краями; по цеолитам иногда развивалась вторичная карбонатизация. Сходный материал отмечался так-же на Линейной, Покамасовской, Мало-Атлымской и Салымской площадях, однако его сохранность была хуже. Накопление обогащенных пеплом прослоев происходило в спокойной обстановке - пластины глинистых минералов ориентированы практически параллельно, что способствовало формированию тонкой горизонтальной отдельности - листоватости.

Основные сведения о нефтеносности связаны с районом Большого Салыма, где в отдельных скважинах были получены фонтанные притоки нефти дебитом до 2400 м³/сут. Однако, резкая латеральная изменчивость коллекторских свойств, в первую очередь проницаемости (на расстоянии первых сотен метров дебиты скважин могут изменяться от тысяч тонн до «сухо»), что вызвано крайне неоднородным распространением зон трещиноватости, а также практическая невозможность организации системы поддержания пластового давления (ППД) делают этот достаточно проблематичным для освоения. Достаточно отметить, что при оценке потенциальных ресурсов Западной Сибири, в том числе последней на сегодняшний день оценке 1989 г., баженовский комплекс, в отличие от семи других нефтегазоносных комплексов, оценивался не подсчетным, а экспертным путем.

Центральная часть Уватского района на севере непосредственно примыкает к Салымскому нефтегазоносному району, поэтому основные перспективы данного комплекса здесь связаны с этими территориями, главным образом Северо-Демьянским, Комариным, Пограничным, Ендырским и др. лицензионными участками. Коллекторские свойства, эффективные толщины баженовской свиты в настоящее время в должной мере не изучены и приняты по аналогии с однотипными залежами Салымского района, так же как методики их оценки. Эффективные и эффективные нефтенасыщенные толщины, выделенные по ГИС, изменяются от 4,0 до 15,5 м. Установленные залежи нефти на Ендырском и Северо-Демьянском месторождениях были выявлены на ранних стадиях разведки соответственно в 1992 и 1993 годах в известной степени случайно, дебиты нефти составили 5,6 м³/сут при динамическом уровне 1006 м (скв. 9 Ендырская) и 9,4 м³/сут. на 4-мм штуцере (скв. 8 Северо-Демьянская).

Наибольшее количество накопленного материала, равно как и основные перспективы комплекса в рассматриваемом районе связаны с Северо-Демьянским лицензионным участком. Всего данный объект опробован в 8 скважинах, из них 4 объекта испытано совместно с отложениями нижней и верхней юры. Дебиты нефти варьируют от 3,2 м³/сут при динамическом уровне 1100 м до 9,4 м³/сут. на 4-мм штуцере. Это значит, что продуктивность отложений «классического» разреза баженовской свиты в Уватском районе значительно ниже аналогичных отложений Большого Салыма. Учитывая этот факт, в качестве опытно-методических работ в течение 1999-2004 г.г. были проведены следующие исследования, направленные на выявление зон с

улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, связанных с трещиноватостью:

- Изучение естественной трещиноватости пород с помощью сейсмолокации бокового обзора (СЛБО);
- Изучение структуры, емкости, фильтрационных характеристик, насыщенности порово-трещинного пространства на основе ядерно-магнитного томографического каротажа (ЯМТК);

Сейсмолокацией бокового обзора исследовано два участка в центральной части Северо-Демьянского поднятия (р-н скв. 6, 8, 9). Основой для интерпретации данных метода СЛБО является положение о том, что величина энергии рассеянных волн определяется количеством трещин открытого типа в объеме геологической среды, в котором формируется сейсмический сигнал рассеянной волны, то есть, между энергией рассеянных волн и интенсивностью трещиноватости в объеме существует прямая зависимость. Результатом интерпретации СЛБО явился прогноз распределения трещиноватости в трехмерном пространстве.

На основе полученных рекомендаций были заложены две разведочные скв. №560 и №30. В обеих скважинах отобранный керн характеризуется низкими коллекторскими свойствами. Петрофизические исследования, выполненные на керне свидетельствуют, что коэффициенты пористости меняются от долей процента до 6%/ По результатам интерпретации временных замеров ГИС в этих скважинах коллектора фиксируются по снижению во времени удельных электрических сопротивлений за счет эффекта проникновения. При этом на диаграммах ИК это отмечается для свиты в целом, на диаграммах БК снижение сопротивлений со временем отмечается только в отдельных пропластках. Опробование интервала пласта Ю0 в скв. №560, несмотря на установленное широкое развитие трещиноватости как по СЛБО, так и керну, дало традиционно низкий для Северо-Демьянского месторождения результат – дебит составил ~0.3 м³/сут. Изучение структуры, емкости, фильтрационных характеристик, насыщенности порово-трещинного пространства на основе ядерно-магнитного томографического каротажа (ЯМТК), выполнено в скв. 614 куста 14 Кальчинского месторождения. По данным ЯМТК в интервале баженовской свиты скважины выделено три прослоя (2802-2836 м, 2836-2845 м, 2845-2862 м), несколько отличающихся по структуре порового пространства и ФЕС:

- Участок разреза 2802-2836 м характеризуется переслаиванием прослоев толщиной около 1 м с пористостью до 2,5% и полностью не проницаемыми породами мощностью до 5м. Коллекторские свойства пористых разностей в этом интервале проблематичны.
- Участок разреза 2836-2845 м, отличается от верхнего ослаблением битуминозности и как следствие емкость и толщина коллекторов становится больше. Пористость достигает 5%, причем основную ее часть составляет эффективная компонента, появляется заметная проницаемость достигающая на глубине 2840 м 10мД.
- Начиная с глубины 2845 м характер разреза приобретает черты, описанные для интервала 2802-2836 м.

Таким образом, изучение «классического» разреза баженовской свиты («баженитов») Уватского района с использованием данных СЛБО, ЯМТК и опробований показало, в

отличие от Салымского района, отсутствие значительного влияния количества трещинной компоненты на продуктивность коллекторов, фильтрационно-емкостные свойства пласта Ю0 определяются в основном поровым пространством. Сравнение значений пористости отложений баженовской свиты Салымского и Уватского районов (таблица 7.3) подтверждает полученные выводы.

Таблица. 7.3. Измерения пористости потенциальных коллекторов Баженовской свиты.

Район	Значения пористости		
	Минимальные	Максимальные	Средние
Уватский	Доли единиц	6,2	4,5
Салымский	Доли единиц	19	10,4

Описанные выше особенности строения делают собственно Баженовские отложения в Уватском районе крайне сложным для прогноза нефтегазоносности и освоения, а применяющиеся в других территориях Западной Сибири методики дистанционного прогноза пористости в рассматриваемом районе кондиционных результатов не дали. В данный момент он не рассматривается, как реальный резерв для нефтедобычи, в отличие от другого объекта - т.н. аномального типа разреза (АТР).

Аномальный тип разреза баженовской свиты (толщи внедрения)

В Западной Сибири значительный объем работ был выполнен, начиная с 60-х гг., после открытия серии залежей в зоне Салымского-Приразломного месторождений. В последующие годы научный интерес к проблеме был несколько эпизодичен, но в 90-х гг. возник снова. Это было связано с многочисленными промышленными залежами и нефтепроявлениями обнаруженными в пределах так называемых «аномальных» разрезов на площадях западной части Сургутского свода: Явинлорской, Утлорской, Метельной (Назаргалеевское месторождение), Авачинской, Назышской, Средненазымской, Ковровой, Ай-Пимской, Маслиховской, Северо-Алехинской, Студеной, Сыхтынглорской (Ульяновское месторождение) при переливе без ГРП при относительно больших дебитах (до 43-69 м³/сут на 4—6-мм штуцерах) (В.Ф. Никонов и др., 2001). Притоки нефти, как и промышленные, так и непромышленные, характерны для территории, расположенной по линии месторождений Тундринское-Маслиховское-Алехинское-Тянское и западнее их. Восточнее этой границы небольшие притоки нефти получены в некоторых скважинах Конитлорского, Тянского и Тевлинско-Рускинского месторождений. Наиболее существенные работы выполнены А.А. Неждановым, Г.И. Плавником, Ю.В. Филипповичем, О.В. Важениной, Г.С. Ясовичем и др., фундаментальные исследования Ю.В. Брадучаном, Ф.Г. Гурари и др.

Установить явление, которое, в известной степени, представляется уникальным в разрезе осадочного чехла ЗСБ, позволила высокая распознаваемость отложений баженовской свиты. В общем виде аномальный разрез баженовской свиты отличается от «нормального» преимущественно трехчленным строением – толща битуминозных глин делится на две, как правило, существенно отличающихся по мощности пачки, а

между ними залегает сильно дислоцированная песчано-алевролитовая толща. В большинстве случаев верхняя пачка по мощности существенно превышает нижнюю, вплоть до полного отсутствия последней (скв. №277 Кальчинской площади), однако, в отдельных случаях (скв. №51348 Западно-Самотлорской площади) существенно более мощная пачка расположена в нижней части АТР. Зачастую за счет дислоцированности разреза происходит снижение кажущегося сопротивления битуминозных глин; в этом случае основным индикатором для их выделения становится значительно более высокие значения их гамма-активности. Суммарная мощность АТР существенно (в разы) превышает мощность нормальных разрезов, достигая 100-120 и более метров. На сейсмических разрезах зона развития АТР выделяется по резкому прекращению прослеживаемости наиболее контрастного в разрезе ЗСБ сейсмического отражающего горизонта «Б», замещающегося зоной преобладания хаотической сейсмофации; временной интервал между ОГ «Б1», соответствующий подошве комплекса (и, соответственно, кровле низкоомной пачки абалакских глин) и верхней огибающей линии зоны развития хаотической сейсмофации в пересчете в глубины также часто превышает 100 м. В целом, в зонах развития АТР в рассматриваемом регионе выделяется два основных и несколько дополнительных типов сейсмического рисунка. В собственно зоне АТР (или как будет показано далее, зоне внедрения турбидитно-оползневых осадков) наблюдается хаотическая сейсмофация. В сопредельных, а иногда и напрямую не связанных с ними зонах наблюдается сейсмический рисунок типа «стиральной доски» - в интервале баженовской свиты наблюдается серия коротких (10-15 мс) наклонных параллельных друг другу отражений (см. рис. 10). Наиболее вероятным объяснением формирования такой картина является ее приуроченность к зонам сжатия неконсолидированных осадков баженовской свиты за счет внедрения турбидитно-оползневых толщ или каких-либо иных причин, например, неотектонических движения.

Все существующие гипотезы формирования аномальных типов разреза баженовской свиты могут быть условно поделены на две группы: конседиментационные (клиноформные: В.Ф. Гришкевич), и постседиментационные (оползнево-турбидитные; А.А. Нежданов, Г.С. Ясович, Г.И. Плавник). Кроме того, существуют экзотические представления, связанные с фактическим отрицанием самого явления АТР. Эти взгляды наиболее наглядно были изложены в работе И.М. Коса, В.А. Ревнивых и др [1]. Как отмечают авторы работы, «одно из крупных недоразумений, связанных с баженовской свитой, — понятие о ее аномальности. Собственно баженовская свита имеет мощность обычно от 15 до 30 м. Однако за счет включения в нее совершенно не имеющих к ней отношения пород новобыстринской свиты, подачимовских и ачимовских отложений, возрастных аналогов баженовской свиты, мощность ее доведена до 200-210 м (А.А. Нежданов), а в пересчете запасов по Тяньскому месторождению в 1990 г. концерном «Тюменьгеология» — до 250 м». Сложно сказать, что побуждает авторов реанимировать положение двадцатилетней давности, опровергнутое многочисленными более поздними исследованиями, однако, следует отметить, что оно противоречит многочисленным накопленным фактическим данным, а вновь вводимая новобыстринская свита никак не упрощает понимание процессов, приведших к формированию пограничного юрско-нижнемелового комплекса. Кроме того, на замечание авторов о наличии в Западной Сибири сотен свит и псевдо-уникальности одной, следует заметить, что и ачимовская пачка представляет собой в известной степени уникальный для Западной Сибири комплекс, сформированный глубоководными конусами выноса. Кроме того, подобные АТР явления отмечаются и в

других комплексах (например, кузнецовской свите), однако в силу меньшей распознаваемости самих вмещающих комплексов существенно менее известны.

Другим вариантом фактического отрицания существования АТР является отнесение песчаной пачки толщи внедрения к другим стратиграфическим единицам - аналогам васюганской свиты или нижней части ачимовских отложений. Данные, полученные в последние годы, позволяют говорить о том, что песчаные пачки площадного развития в верхнеюрских отложениях – аналоги верхневасюганской подсвиты развитой в восточной части ЗСБ – отмечаются и на других окраинах. Установленная авторами совместно с О.В. Бакуевым, М.А. Волковым и Ю.А. Стовбуном выдержанная песчаная пачка в пределах Яхлинской площади к западу от Красноленинского свода скорее всего представляет собой западный аналог пласта Ю1 васюганской свиты. Вероятно, в пределах южной окраины рассматриваемой территории также могут быть установлены подобные отложения.

Однако, чрезмерное расширение зоны развития пласта Ю1 и его аналогов было бы ошибочным. Так А.А. Нежданов (устное сообщение) относит к таковым песчаный пласт, определенный как АТР, в скв. №277 Кальчинской площади. Основной причиной этого является нетрадиционная форма каротажной записи – слабая выраженность нижней пачки битуминозных глин. Отсутствие керновых данных (скважина эксплуатационная и отбор керна не проводился) не позволяет однозначно разрешить этот вопрос, однако, очевидно, локальное развитие толщи не соответствует площадному характеру развития верхневасюганской подсвиты. А.П. Соколовский с соавторами, гипотеза которых может быть отнесена к постседиментационным, в отдельных случаях представляет близкие соображения. В работе [21] фиксируемая и по сейсмическим, и по керновым данным толща внедрения в скв. №6 Зимней площади, определяется, как пласты Ю11-3 васюганской свиты (!?).

Конседиментационные гипотезы формирования АТР баженовской свиты.

Клиноформная гипотеза

Из предлагаемой модели [3] следует, что накопление относительно глубоководных битуминозно-глинистых осадков происходило периодически (неоднократно), но кратковременно в течение позднеюрско-раннемелового трансгрессивно-регрессивного цикла. По-видимому, область сколько-нибудь существенной их седиментации не распространялась каждый раз на весь бассейн, а контролировалась строго определенными палео-геоморфологическими зонами и фациально-геохимическими обстановками. Она охватывала, как правило, нижнюю часть пологого аккумуляционного склона и прилежащую область ложа некомпенсированной впадины. В центральной зоне бассейна указанные осадки если и накапливались, то, очевидно, очень малой мощности и в основном в иной существенно кремнистой литофаций. Авторы гипотезы также полагают, что битуминозные аргиллиты накапливались не по всей зоне глубоководного моря, а тяготели к подножию шельфа. В зависимости от интенсивности поступления обломочного материала его наиболее тонкодисперсная часть то опускалась к подножию склона, разбавляя фито-планктонную массу, то не достигала его и фитопланктонный материал накапливался также и в пределах нижней зоны склона. При этом не отвергается возможность проявления на отдельных участках

аномальных разрезов подводно-оползневых процессов и суспензионных потоков, которым отводится подчиненная роль.

По мнению авторов, по данным бурения и сейсморазведки зоны аномальных разрезов представляют собой односторонние клиновидные тела, раскрывающиеся и переходящие в ачимовские клиноформы в восточном направлении и выклинивающиеся до толщины обычной баженовской пачки в западном.

Анализ распространения наиболее ранних клиноформ, выполненный авторами гипотезы, указывает на то, что не загруженная осадками позднеюрская аккумулятивная впадина, хотя и менее глубокая, чем на последующих этапах, сформировалась в пределах Западно-Сибирской плиты еще до накопления первой баженовской литофаций. Лишь в процессе постепенного нарастания и продвижения в сторону некомпенсированной зоны аккумулятивного шельфа и его склона (клиноформы) время от времени создавались условия для периодического формирования маломощных битуминозно-глинистых осадков баженовской литофаций. По мере накопления мелководно-шельфовых и клиноформных неокомских отложений, увеличения их общей мощности и миграции склона шельфа внутрь бассейна глубина остаточной некомпенсированной зоны последовательно возрастала. В связи с этим более поздние баженовские литофаций, сформировавшиеся на последнем перед замыканием некомпенсированного бассейна этапе, являются относительно наиболее глубоководными.

Таким образом, верхняя и нижняя битуминозные пачки в АТР являются разновозрастными, сформировавшимися последовательно, а песчано-алевритовая пачка характеризует соответствующие изменения в динамике осадконакопления, наблюдавшиеся между двумя относительно спокойными периодами. Подобной точке зрения противоречат керновые данные, во-первых, потому что в граничных между толщами внедрения и вмещающими сланцами часто наблюдаются брекчии из остроугольных обломков черных сланцев, характеризующие катастрофический характер осадконакопления, а во-вторых, потому, что по немногочисленным, но в достаточной степени достоверным данным палеонтологическим и споро-пыльцевым определениям, возраст толщ внедрения датируется, как неокомский, а верхних пачек сланцев – как более древний, обычно верхнеюрский. Одним из таких примеров могут являться определения, выполненные Ю.В. Брадучаном и Вячкилевой (таблица 7.4).

- Тагринская скв. 55. интервал залегания «аномальной» баженовской свиты 2681-2825. Аммониты обнаружены в интервале 2728-2734:
 - Dorsoplanites* sp.indet.,
 - Pavlovia* cf. *iatrensis* Ilon emend. Michl.
 - Dorsoplanites* sp(cf.*D.antiquus* Spath)
 - Dorsoplanites* sp.indet.,
 - Pavlovia* cf. *iatrensis* Ilon emend. Michl

Этот комплекс аммонитов указывает на нижнюю зону средневожского подъяруса *Pavlovia* cf. *iatrensis*-J3v21.

- Тагринская скв. 70. Интервал залегания «аномальной» баженовской свиты 2673-2824м. Аммониты обнаружены в интервале глубин 2732-2737 м.:
 - Dorsoplanites* sp.cf. *flavus* Spath
 - Скопление *Laugeites* и *Dorsoplanites*
 - 2737-2740 *Dorsoplanites* sp.(cf.*D.flavus* Spath)

Dorsoplanitinae

Этот комплекс аммонитов указывает на третью зону средневожского подъяруса Dorsoplanites –J3v23.

Эти две скважины имеют сходную каротажную характеристику. Аммониты (определения Н.П. Вячкилевой) в них располагаются на одном уровне. Ниже (~10 м) находок аммонитов в разрезе залегают песчаники и серые, темно-серые аргиллитоподобные глины ачимовского облика. Все они сильно нарушены системой трещин, зафиксированы крупные зеркала скольжения различной ориентировки. В породах ачимовского облика встречаются крупные остроугольные обломки битуминозных аргиллитов. Аммониты обнаружены в битуминозных породах. Сероцветные разности оказались «немыми». В отличие от обычных округлых, здесь аммониты имеют вытянутую эллипсоидальную форму.

Восточно-Перевальная скв. 42. Интервал залегания «аномальной» баженовской свиты 2977-3077м.

Интервал 3047-3067 м. Здесь встречаются как битуминозные, так и серые, темно-серые глинистые отложения ачимовского типа. Породы перемяты. Из серых, небитуминозных разностей Т.С.Безруковой определен споро-пыльцевой комплекс, который, по ее мнению, указывает на валанжинский, возможно, берриасс-валанжинский возраст вмещающих пород. Такие споро-пыльцевые комплексы встречаются в нижней части ачимовской, реже в подачимовских толщах. Для баженовской свиты они нехарактерны.

Флоккулярная гипотеза (В.Ф. Гришкевич)

Для обоснования гипотезы АТР В.Ф. Гришкевич выдвигает оригинальную модель формирования собственно баженовской свиты. Во многом опираясь на представления предыдущих исследователей, автор считает, что накопление органоминеральных агрегатов происходило в достаточно узкой полосе (10-40 м), отстоящей от кромки шельфа на 20-30 км, а основную роль в этом процессе играли кататрофические (с высотой волн более 7 м.) штормы. При этом происходило перемешивание существенно опресненного «языка» с солеными морскими водами, что приводило к быстрому отмиранию планктона с образованием и осаждением на внешней границе континентального склона органоминеральных флокул. В условиях трансгрессии ситуация меняется, поскольку зона массового отмирания планктона начинает тяготеть к континентальному склону, откуда вместе с песчано-алевритовыми телами, формирующими ачимовскую свиту, скатываются к его подножью. При дальнейшем увеличении глубины моря ситуация возвращается к исходной. Согласно автору, схема демонстрирует этап максимальной регрессии. Понижение уровня моря приводит к уменьшению толщины слоя солоноватых вод и удлинению их «языка» Зона образования флокулятов расширяется и отодвигается в открытое море. К концу этого периода возможно прямое налегание терригенных пород склона на подстилающие (георгиевские) глины. Далее уровень вод возвращается на исходную отметку. Это приводит к тому, что флокуляты опять начинают накапливаться у основания склона, перекрывая слой баженинов, накопившихся на втором этапе. С началом трансгрессии

глубина вод над зоной шельфа увеличивается, длина «зыка» солоноватых вод уменьшается. При этом зона флокуляции начинает «нависать» над склоном, а бажениты накапливаются в фондоформной зоне вместе с ачимовскими песками или перекрывая их. В результате дальнейшей трансгрессии зона флокуляции оказывается над плато. Их органическая компонента окисляется растворенным кислородом и уничтожается донным бентосом, в результате чего формируются т.н. «тонкоотмученные» глины покровных пластов. Отложение баженитов не происходит. После восстановления обычного уровня моря начинается образование «нормального» разреза баженовской свиты.

Данная гипотеза представляет несомненный интерес, однако вызывает те же возражения, что и клиноформная гипотеза.

Тектоногенная гипотеза

По представлениям А.П. Соколовского и Р.А. Соколовского, начиная с раннемелового времени (берриас), в Западной Сибири сильно активизировались тектонические процессы, которые в первую очередь проявили себя в пограничных зонах областей разновозрастной консолидации палеозойского фундамента и на бортах крупных грабенных, таких как Ярсомовский Аганский, Колтогорский, Уренгойский и др. Эти процессы привели к тому, что в таких тектонических зонах уже сформировавшиеся и литифицированные осадки баженовской свиты оказались выше уровня моря и подвергались процессам дробления, разрушения и переотложения. На это, по мнению авторов, однозначно указывают текстурные признаки пород, которые присущи разрезам ачимовской толщи. Представляя данную гипотезу, авторы, тем не менее, указывают, что в силу того, что, рассматриваемые процессы по отношению к накоплению осадков баженовской свиты являются вторичными, сформировавшиеся таким образом осадки ачимовской толщи обломками битуминозных глин нельзя называть аномальными разрезами.

Выделить новый вид аномальности, связанный с горизонтальными дизъюнктивными дислокациями (надвигами) – тектоногенный, предлагает Ю.В. Филиппович. Данный тип АР выделяется автором в пределах северной части Комсомольского месторождения и в Иртыш-Кондинском междуречье. В то же время, по его мнению, у исследователей, пропагандирующих этот механизм формирования АТР, наблюдается явное стремление альтернативного противопоставления его другим моделям, что согласно имеющимся данным, совершенно необоснованно.

Гипотеза вдольбереговых течений (Ф.Г. Гурари, Г.С. Ясович)

По данным независимых исследований Ф.Г. Гурари, Г.С. Ясовича и др. основной движущей силой в формировании АТР были турбидитные и придонные потоки, которые были приурочены к авандельте крупной реки, стекавшей с северо-западной оконечности Сибирской платформы и впадавшей в баженовское палеоморе [3]. Соответственно, данная гипотеза в существенной мере повышает роль субширотной составляющей в распределении песчано-алевритовых тел баженовских аргиллитов. Основные возражения против данной гипотезы определяются, во-первых,

закономерностями распределения зон АТР по площади, допускающие их корреляцию с соответствующими клиноформными комплексами, т.е. превалирование субмеридианальной составляющей, а во вторых, формой и закономерностями изменения толщин песчано-алевритовых тел, существенно зависящих от направления движения турбидитного потока.

В действительности по данным бурения и сейсморазведки, которые находятся в полном взаимном соответствии, зоны аномальных разрезов представляют собой односторонние клиновидные тела, раскрывающиеся и переходящие в ачимовские клиноформы в восточном направлении и выклинивающиеся до толщины обычной баженовской пачки в западном. Однако далее делался неправомерный вывод о том, что связывать образование подобных форм с русловыми или турбидитными течениями вряд ли возможно. Фактически же подобное строение песчано-алевритовых толщ не противоречит турбидитной гипотезе, рассматриваемой далее.

Турбидитная гипотеза А.А. Нежданова

Данная гипотеза по степени разработанности и соответствия накопленному фактическому материалу наиболее близка к тому, чтобы называться теорией. По представлениям А.А. Нежданова согласно данным керна, в интервале АТР отмечается широкое «развитие оползневых и флюидальных текстур, трещин, непунических даек/зеркал скольжения и других дислокаций», придающих породе «мусорный» облик. В крест простирания подобные геологические тела имеют следующее строение: «битуминозные породы, сливающиеся в западных скважинах в единое тело баженовской свиты, в восточном направлении расклиниваются песчано-глинистыми породами, затем резко на коротких расстояниях переходят в нормальные разрезы баженовской свиты». При циклических понижениях уровня моря, сильных штормах происходило сбрасывание значительных масс терригенных осадков в глубоководную зону. Крупные оползневые массы, создавая значительную нагрузку на подстилающие образования, приводили к их разрыву и смятию в зонах наибольшей неоднородности упруго-деформационных свойств пород. При таких нагрузках битуминозные глины, обладающие физическими свойствами, резко отличными от подстилающих пород, отрывались от прочно литифицированных еще в диагенезе конкреционных образований, залегающих в кровле георгиевской свиты, деформировались, раскалываясь на отдельные прослои, промежутки между которыми заполнялись песчано-глинистым материалом, поступающим в оползнях [18].

Очень существенное дополнение было сделано Г.И. Плавником [20]. Исследуя характер дислоцированной части разреза баженовской свиты Урьевско-Поточной площади в Среднем Приобье, он пришел к выводу о том, что она формировалась в несколько этапов, в соответствии с этапами формирования соответствующих толщ ачимовской пачки. По представлениям Г.И. Плавника, формирование каждого единичного оползня происходило в конце накопления соответствующих пластов ачимовской пачки, в частности Ач – БВ 9-1. На склоне дельты, уклон которого достигал более 10 м на километр, образовывалась некоторая критическая масса песчано-алевролитовых пород, в основании которой находилась глинистая пачка с тонкоотмученным прослоем. Когда величина массы грубообломочных пород превысила критический порог, она под влиянием силы тяжести начала скользить по

поверхности глин. Пусковым механизмом отрыва горных пород могли служить внешние силы, например, тектонические подвижки, землетрясения, штормовые волны и т.п.

Аномальный тип разреза баженовской свиты (толщи внедрения) в Уватском районе

Судя по сейсмическим данным, «аномальный» тип баженовской свиты имеет в Уватском районе существенно большее по сравнению с «классическим» распространение. Залежи нефти в здесь за последнее время установлены на Нижне-Кеумском, Радонежском, Кальчинском месторождениях. В 2000 году при испытании скважины №80 на Восточно-Кальчинской площади в интервале 2715-2750 м получен приток нефти дебитом 18,5 м³/сут. при депрессии 39 атм. «Аномальный» разрез в этой залежи испытывался также в 3-х эксплуатационных скважинах, бурившихся на ачимовскую залежь и углубленных до абалакских отложений. Опробовано 3 объекта, нефть получена только из скважины №625, где дебит составил 0,1 м³/сут. В этом же году эксплуатационной скв. № 277 на юге Кальчинского месторождения установлена новая залежь, во время испытания в интервале 3162-3186 м получен приток нефти дебитом 7,9 м³/сут. Скважина была введена в эксплуатацию и в настоящее время эксплуатируется со средним дебитом 5-6 м³/сут.

Исследование керна показало, что внедренный в баженовскую свиту осадочный материал представляет собой неравномерное, порою грубое, прослоями ритмичное, переслаивание аргиллитов, песчаников и алевролитов, каждый из которых, в свою очередь, обычно более тонкослоистый, благодаря, опять-таки, взаимным переходам и чередованию названных пород, но уже в виде более тонких слоев, намывов, линз. Слоистость, чаще всего волнистая, линзовидная, довольно часто ритмичная, нарушена следами оползания осадка, встречаются следы его разрыва, есть зеркала скольжения, участками керн разбит на щебень с размером обломков от 2-3 до 5-7 см.

Песчанистость «аномального» разреза в значительной мере изменяется по площади, однако, наблюдается тенденция к ее увеличению во фронтальной части тел внедрения. Относительно проницаемые породы «аномального» разреза по имеющемуся керну представлены песчаниками мелкозернистыми в различной степени алевроитовыми и алевроитистыми, алевролитами разномзернистыми песчанистыми. Преобладающий размер зерен в песчаниках 0,08–0,13 и до 0,16 мм, в алевролитах – 0,04–0,08–0,10 мм. Содержание песчаной фракции в алевролитах, как правило, от 20-25 до 30-35%, алевроитовой в песчаниках от 25-30 до 40-45 и 50%. Сортировка обломочного материала, чаще всего, средняя или плохая, в лучшем случае – хорошая, но близкая к средней. Зерна, как правило, полуокатанные и окатанные, встречаются полуугловатые. Коллекторские свойства пород низкие, проницаемость не превышает 2,5 мД, а в среднем составляет 0,1 мД, что соответствует VI классу коллекторов. Пористость «по керосину» составляет в среднем 8,4%, изменяясь при этом от 5,3 до 19%. По каротажу тела внедрения характеризуются значительным диапазоном показаний ГИС, при этом, на основании кривой ПС, микрозондов, радиального градиента сопротивлений можно выделить два типа разреза.

- Первый тип разреза – кривая ПС выположена, глинистая корка и как следствие положительное приращение на микрозондах отсутствует, радиальный градиент

сопротивлений либо отсутствует, либо слабо выражен при наличии в керне мощных песчаников и работающих мощностей по приток-составу. Одновременно с этим по сопоставлению нормированных значений ГК, БК и кажущейся пористости по НК разрез характеризуется как продуктивный коллектор. Данный тип разреза наиболее ярко представлен в скв. №80, 611 Восточно-Кальчинской площади. Установленная геофизическая характеристика разреза характерна для коллекторов со сложной структурой порового пространства – трещинных, трещинно-кавернозных, порово-трещинных. Применение для выделения коллекторов количественных критериев, например, граничных значений пористости или геофизических параметров (относительная амплитуда ПС, естественная радиоактивность, интервальное время и т.д.) не эффективно, так как их проницаемость обусловлена, скорее всего, трещинами, характеризующимися малой емкостью.

- Второй тип разреза – кривая ПС дифференцирована, на диаграммах электрического, радиоактивного каротажа и кавернометрии, присутствуют «классические» признаки коллектора. Разрезы этого облика встречены в скв. №277 Кальчинской, №90 Южно-Кальчинской и №6 Зимней площадей. Геофизическая характеристика отображает развитие в разрезе типичного для Западной Сибири гранулярного коллектора. В отдельных случаях, как отмечалось выше, нижняя пачка не отличается высоким сопротивлением (скв. №277).

Изучение площадного распространения указанных геофизических типов разрезов на Кальчинском месторождении позволяет предполагать, что первый, наиболее распространенный из них, характерен для дистальных частей тел внедрения, формирующих «аномальный» разрез баженовской свиты. Здесь, неконсолидированные осадки, сползшие по склону клиноформы в результате подводно-оползневых явлений, претерпели наибольшее динамическое уплотнение, вследствие взмучивания потеряли первоначальную сортировку, насытились пеллитовым материалом за счет существенно глинистого материала баженовской свиты. Второй, вскрытый единичными скважинами, тип геофизических разрезов отображает проксимальные, наименее преобразованные участки зерновых потоков, срывавшихся к подножию склона. По степени изученности наибольший интерес представляет скв. №80 Восточно-Кальчинской площади.

Модель формирования аномальных разрезов баженовской свиты.

Исходными для предлагаемой модели служили следующие данные:

- Многочисленные описания керна, свидетельствующие о катастрофическом характере формирования АТР, наличие в приконтактных зонах толщ внедрения со вмещающими породами неокатанных обломков аргиллитов, отмечаемые в самих толщах внедрения многочисленные изолированные линзы и «закрутыши», а также собственно характер их залегания, как сильно дислоцированных толщ между недислоцированными отложениями, что нередко приводит к формированию т.н. «безкорневых» структур;
- Результаты проведенного анализа толщин подстилающих баженовскую свиту толщ (в первую очередь, абалакской свиты и ее возрастного аналога –

комплекса георгиевской и двуслойной васюганской свит), свидетельствующие о тяготении зон развития АТР преимущественно к восточным обрамлениям зон минимумов; в общем виде это позволяет предположить то, что внедрение турбидитно-оползневых толщ происходило преимущественно с внутренних по отношению к направлению потоков сторон палеоструктур, существовавших к концу баженовского времени;

- Представления о том, что внедрение гигантского (по разным данным длиной от первых километров до 30 км) тела с «отщеплением» тонкой пачки битуминозных сланцев, перемещаемой на десятки метров вверх от своего первичного залегания, требует весьма специфических условий, крайне редко по сравнению с масштабом развития АТР имевших возможность возникать в геологической истории Западной Сибири.

Все эти данные, наряду с анализом конкретных зон развития толщ внедрения как в рассматриваемом регионе (Кальчинской, Зимней, Чирпской и т.д.), так и в целом по Западной Сибири (Урьевско-Поточной, Тагринской и др.), были использованы при подготовке представляемой модели формирования АРТ за счет формирования толщ внедрения турбидитно-оползневых потоков и сопутствующих процессов. Употребление понятия турбидитно-оползневой поток здесь является осмысленным, поскольку очевидно, что эти два явления, представляющие разные формы одной непрерывной последовательности процессов переноса и отложения осадков в глубоком море, в той или иной степени являлись причиной формирования АТР, однако их разделение в толщах внедрения по причине скудности накопленного материала не является возможным.

Таким образом, формирование АТР в рассматриваемом регионе происходило следующим образом. На момент завершения отложений черных сланцев в каждом конкретном районе (оно не было одновременным) рельеф дна не был ровным – продолжался рост унаследованных структур, который на основе анализа толщин подстилающих толщ отмечался и ранее (рис. 20, 21). Амплитуды этих структур были незначительными (до первых десятков метров), но этого было достаточно для формирования т.н. «отрицательного» рельефа на пути турбидитно-оползневого потока. При достаточной энергетике потока (при этом склон, по которому движется поток, должен иметь градиент не менее 10 м/км) на внутренних по отношению к потоку склонах происходил разрыв сплошности черных сланцев, а на прочих участках переносимый материал осаждался у подножья склона в виде нижней пачки ачимовской толщи. В силу перемещения потока на значительную по вертикали величину (сотни метров), наличие в каждом случае для улучшения скольжения пачки тонкоотмученных глин, вероятно, не требовалось. Длина «языка» толщи внедрения не превышала сотен метров – первых километров; общая значительная протяженность толщ внедрения вызвана неоднократностью повторения данного процесса. Зафиксировать отдельные этапы формирования толщ внедрения только по скважинным данным достаточно проблематично; отдельные фрагменты ТВ могут быть выделены в комплексе с материалами 2D и 3D сейсморазведки. На внешней (или теневой) по отношению к стороне локальных поднятий часто формировались т.н. толщи сжатия, на сейсмических профилях представленные сейсмofацией «стиральной доски» - серией коротких параллельных наклонных отражений (рис. 10).

Таким образом, с точки зрения поисков залежей УВ в толщах внедрения АТР баженовской свиты предварительными критериями являются:

- Наличие в палеоплане структуры, расположенной на пути следования турбидитно-оползневого потока. Учитывая преимущественно унаследованный характер развития структур в Западно-Сибирском бассейне, их наличие может быть предварительно спрогнозировано по минимальным значениям на картах мощностей подстилающих толщ;
- Наличие достаточной энергетики самого потока, определяемой в т.ч. уклоном поверхности, по которой движется поток, и перепадом глубин в пределах склона. Эти величины могут быть оценены непосредственно по сейсмическим данным (построением карты поверхности соответствующего сеймо-стратиграфического комплекса (ССК) с поправками за уплотнение песчаных и глинистых пород и выравниванием по ОГ Б1 (подошва баженовской свиты), как последнего на момент формирования АТР конформного горизонта).

Очевидно, что оконтуривание зон развития АТР может быть выполнено и более простым способом на основании карт толщин самой баженовской свиты, приняв за линию отсечки некоторую величину, характерную для данного района (в рассматриваемом регионе 60 м). Однако, в этом случае, в оконтуренную часть попадут и другие типы АТР (те же толщи сжатия), не имеющие прямого отношения к продуктивным осадкам толщ внедрения. Оползневая" модель АР также довольно однозначно распознается на временных сейсмических разрезах. ОГ "Б", приуроченный к кровле битуминозных отложений баженовской свиты, отличается слабой выдержанностью и резким изменением волнового рисунка, выражающемся в варьировании динамических характеристик волны и значительном временном сдвиге вверх по разрезу с разрывом сплошности. При этом часто не выделяются элементы глубинной разрывной тектоники, контролирующей границы зоны АР. В то же время привлекают внимание многочисленные бескорневые «сколовые» срывы осей синфазности, направленные встречно общему наклону отражающих границ. Эта картина полностью тождественна классическому строению оползневых толщ как подводного, так наземного генезиса. Между ОГ Б и Б1 присутствует относительно самостоятельное отражение, ассоциируемое с внедрившейся ачимовской песчано-глинистой толщей.

Немаловажным является и тот факт, что формирование ТВ и ачимовской толщи в происходило практически одновременно. Соответственно, внедрение и разрыв сплошности пород, а, следовательно, возникновение барьеров, могло относиться и к ранее отложенным осадкам ачимовской толщи. Г.И. Плавник [20] полагает, что по этому механизму с замещением по горизонтали проницаемых песчаных пород на слабопроницаемые глинистые, происходило формирование литологического барьера, ограничивающего с юга залежь в пласте Ач-1 Мало-Ключевского месторождения. Ранее этот барьер объяснялся тектоническим нарушением. Это открывает новый и на рассматриваемой территории пока не обнаруженный тип ловушек в ачимовской пачке с литологическими барьерами, сформированными при образовании АТР. Такие ловушки могут возникать на внешних границах распространения толщ внедрения; при наличии качественных материалов сейсморазведки, главным образом 3Д, их картирование не представит значительных трудностей.

7.1.5. РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАРОТАЖА

Различные методы ГИС разрабатывались и используются для выделения и количественной характеристики пород-коллекторов. Необходимость детального циклостратиграфического изучения черных сланцев и других потенциально нефтематеринских пород привела к разработке методики определения количества суммарного органического углерода (ТОС) по данным методов сопротивлений и акустики. Эта методика была опробована компанией Амоко Обь Ривер Петролеум для характеристики Баженовской, Тогурской и Радомской толщ на Приобском месторождении и ряде сопредельных площадей и дала обнадеживающие результаты. Её применение для характеристики Баженовской свиты, и в первую очередь "аномальных" разрезов и подачимовской пачки позволит повысить достоверность прогноза продуктивности этих отложений.

Нефтематеринские породы в западной Сибири представлены черными сланцами, различной степени битуминозными аргиллитами, углями и глинистыми известняками содержащими заметное количество органического вещества (ОВ). Все остальные породы так-же содержат рассеянную органику но в гораздо меньших количествах - порядка 2-3.5%. Стандартными приёмами оценки генерационного потенциала породы являются лабораторные исследования: ТОС, пиролиз, элементный состав, изучение отражательной способности витринита, газовая хроматография и др. Для скважинного анализа используется газовый каротаж и относительно новый, ещё не нашедший широкого применения элементный метод.

В 1986 г. сотрудники Кебриджского Университета - Дж.Д. Мендельсон и М.Н. Токсоз (Mendelson J.D. & Toksoz M.N., 1986) установили корреляционные зависимости между измеренными значениями органического углерода и показаниями каротажных методов в открытом стволе: плотностног, акустики, нейтронного и ГК. В последующие годы эта идея нашла практическое применение и разработки были продолжены представителями как нефтяных, так и сервисных компаний (Herron I.S., 1987; Fertl W.H. & Chilingar G.V., 1988; Stocks A.E. & Lawrence S.R., 1990; Armetrout J.M., 1993). Пасси К.Р. (Passey, Q.R.) первым предложил использовать комбинированную кривую ТОС, рассчитанную по данным метода сопротивлений и акустики и откалиброванную к разрозненным измерениям ТОС и степени его метаморфизма (LOM), выполненным на образцах керна.

Многочисленные работы были посвящены использованию данных природной радиоактивности ГК и её спектральной (U-Th-K40) составляющих для выделения в разрезе и характеристике генерационного потенциала пород. Исследования выполненные на образцах Девонского возраста (Schmoker, J.W., 1981) показали, что такой излишне прямолинейный подход имеет тенденцию занижать содержание органики, и что он не может применяться с одинаковым успехом на всем бассейне предгорья Аппалачей. Импульсный нейтронный метод (C/O) ограниченно использовался для характеристики угленосных свит (Rieke H.H., 1980; Herron, S.L., 1986). Преимуществом такого подхода являлась его чувствительность даже к незначительным количествам углерода, и отсутствие необходимости предварительной калибровки по керну, однако наряду с этим имелись и существенные проблемы: необходимость ввода поправок за присутствие неорганического углерода. Плотностной (ГГК-п) метод успешно использовался для выделения и характеристики

содержания ОВ, но поскольку зонд должен прижиматься к стенке скважины, во многих случаях, когда глинистые породы оказывались размыты он терял свою информативность. Кроме того, присутствие таких элементов как пирит и других тяжелых минералов требовало разработки и введения дополнительных поправок. Одной из первых попыток комбинированного определения содержания органики, явился параметр I-х, предложенный в 1983 г. Делленбахом (Dellenbach, J.J.). Он вывел линейную зависимость между содержанием ТОС и показаниями ГК и акустики. Затем эти разработки были продолжены в научно-исследовательском центре и спонсировались Эксоном и Ессо. Методика, разработанная К.Р. Пасси отличается простотой и относительной надежностью, и хотя не может предложить всех преимуществ, как скажем, метод спектрального ГК или элементного анализа, нашла применение на многих месторождениях мира.

Основа применения – изменение масштабов кривых сопротивления и акустики (времени продольного пробега), с тем чтобы их показания совпадали в чистых аргиллитах не содержащих аномального количества ОВ. Проводится опорная линия, при условии, что показания обоих методов перекрывают друг-друга на протяженном участке; при этом сопротивление берется в логарифмическом масштабе, а акустика - в линейном. Породы обогащенные органикой выделяются по расхождению этих кривых, которое обозначается как $\Delta \text{Log } R$. Соответственно в дальнейшем этот комплексный параметр измеряется на каждой отметке масштаба глубин.

$\Delta \text{Log } R$ прямопропорционален содержанию суммарной органики (ТОС) и зависит от его зрелости или степени метаморфизма (LOM). Для конкретного района степень метаморфизма может быть измерена с помощью витринита, максимальной температуры TMAX или оценена по анализу захоронения осадка и его температурной истории (Hood A.C., 1975). Если этот параметр не измерен или его оценка сделана по какой-то причине ошибочно, методика $\Delta \text{Log } R$, все равно может быть использована для качественной оценки содержания ОВ, т.к. относительные показания будут отражать реальные изменения. Если известен тип органического вещества керогена (I, II или III), значения пиролиза S2 определенные на приборе RockEval, могут быть использованы для оценки степени метаморфизма (см. рисунки 7.10 а-с).

Для оценки этого соотношения К.Р. Пасси была предложена следующая формула:

$$\Delta \text{Log } R = \log_{10}(R / R_B) + 0.06(\Delta T - \Delta T_B) \quad [7.1]$$

Где $\Delta \text{Log } R$ - кривая расхождения показаний сопротивления и акустики в логарифмическом масштабе; R - показания метода сопротивлений в ом., T - скорость пробега продольной волны, TB и RB - величина скорости пробега и сопротивления "опорной" линии; и константа 0.04 - взята (для примера) из соотношения скорости в 280 мсек/м. на одну декаду сопротивления. Необходимо учитывать, что при оценке всего разреза скважины время пробега волны в глинистых породах будет уменьшаться в зависимости от степени уплотнения, а на показания сопротивления помимо уплотнения будут сказываться вариации солености пластовых вод. На рисунке (рис. 7.11) показан пример количественной оценки генерационного потенциала верхнеюрских отложений в скважине №7 Северо-Демьянского месторождения.

Используя данные по скважинам из Северного Моря, К.Р. Пасси вывел эмпирическую зависимость связывающую результаты анализа каротажа - кривую $\Delta \text{Log } R$ - и собственно величину органики в породах преимущественно глинистого состава:

$$TOC = (\Delta \text{Log} R) * 10^{(2.297 - 0.1688 * LOM)} \quad [7.2]$$

Присутствие органики, обладающей низкой скоростью распространения волн, низкой плотностью и $HI \sim 1$, может быть оценено тремя методами стандартного комплекса ГИС - нейтронным, плотностным и акустикой. Так-же эмпирически были получены зависимости, позволяющие заменить данные акустики на кривую нейтронной пористости или ГГК-п. Соответственно:

$$\Delta \text{Log} R_N = \log_{10}(R / R_B) + 4.0 * (\phi_N - \phi_B) \quad [7.3]$$

$$\Delta \text{Log} R_D = \log_{10}(R / R_B) - 2.5 * (\rho_D - \rho_B) \quad [7.4]$$

Поскольку отклонение кривой $\Delta \text{Log} R$ - будет наблюдаться и в интервалах продуктивных коллекторов, перед окончательной интерпретацией распределения ОВ по разрезу, необходимо отделить преимущественно глинистые толщи предпочтительно используя комбинированную оценку по кривым ГК и ПС. Практика применения такого подхода в Мексиканском заливе показывает, что все три кривые находятся в хорошей корреляции друг-с-другом, однако применение акустики считается наиболее надежным. Для контроля качества необходимо так-же учитывать показания кавернометрии, чтобы исключить интервалы с большими кавернами, а так-же помнить о возможном влиянии участков АВПД, связанных с недоуплотнением глинистых толщ.

Анализ геохимического потенциала выполняется только для глинистых участков. В первом приближении для разделения песчаник-аргиллит используют кривую ГК (левая колонка). Для выделения толщ с УВ-генерационным потенциалом во второй колонке расположены данные акустического каротажа и метода сопротивлений (БК). В интервале 2200-2780 м. кривые совпадают, отражая происходящее в глинистых породах уплотнение. Отмечаются редкие прослои в которых снижению кажущегося сопротивления соответствует увеличение интервального времени пробега. На участке соответствующим черным сланцем Баженовской свиты (точка 1), отмечается резкое расхождение кривых АК-КС, связанное с возрастанием ОВ и увеличением пористости. Этот участок характеризуется максимальным потенциалом (черная точка). Для количественной интерпретации данная разница должна быть сопоставлена со значениями ТОС, измеренными на образцах керна или шламма. Для определения возможного избыточного давления, амплитуда увеличения времени пробега (и соответственно пористости глинистых пород), сравнивается с кривой нормального уплотнения (правая колонка). При пересечении вертикальной линии проведенной от величины разности кривых КС и АК, кривой нормального уплотнения (серая линия) снимают отсчет глубин. Разница абсолютных отметок эти двух точек (1 и 2) сопоставляется с избыточным поровым давлением, созданным в зоне генерации УВ.

Анализ генерационного потенциала верхнеюрских-нижнемеловых отложений Ем-Еговской скважины №1836 (рис. 7.12), показал, что абалакская свита и верхняя часть Тюменской свиты характеризуются минимальным потенциалом, а в Баженовской свите выделяется три отчетливых прослоя (помечены точками) из которых максимальным потенциалом (наибольшее разностью значений АК-БК) характеризуется средний. Собственно неокомские аргиллиты характеризуются тонким чередованием разностей и, в целом, обладают некоторым собственным потенциалом.

7.1.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЯМР

Возможность применения ЯМР как для стационарных (лабораторных) исследований, так и для скважинных измерений в черных сланцах ограничивается несколькими факторами:

- Наличием обильной микропористости частично заполненной жидкими УВ и/или битумом;
- Наличием пор крупного и среднего размера частично заполненными битумами и/или тяжелыми УВ с $HI < 1$;
- Вероятной смены типа смачиваемости и присутствия гидрофобных зон;
- Присутствием значительного количества парамагнитных минералов, в первую очередь различных форм железа, принципиально меняющих суммарное распределение T_2 ;
- Отсутствие аналогов скважинных данных, и особенно – образцов керна;

Глинисто-связанной водой (CBW) считают объемы влаги удерживаемый на поверхности глинистых частиц и межслоевой влаги связанной электрохимическими силами. Сюда включается вода гидратации но не включаются гидроксильные ионы (ОН-). Глинистые минералы с высокой удельной поверхностью, такие как смектит и иллит удерживают большое количество влаги, а минералы типа каолинита и хлорита – меньшее (см. главу 4). В общем случае, разделение глинисто-связанной (или влаги микропористости) и капиллярной воды на спектре ЯМР проводят по границе в 3.0 мсек. Работы Мартина (Martin P. 2004) показали, что величина граничных значений отсечек может меняться в зависимости от распределения и состава глинистых минералов, и в частности, для пород существенно иллитового состава время может быть значительно выше 3.0 мсек. Отношение эффективной и суммарной пористости может быть описано с помощью параметра ёмкости катионного обмена и солёности (концентрации NaCl):

$$\frac{MPHI}{MSIG} = 1 - (0.6425 \times S^{-0.5} + 0.22) Q_v \quad [7.5]$$

Все параметры в скобках можно заменит на «фактор солёности» F_s , и учитывая, что разность общей и эффективной пористостей, равна CBW, определить микропористость глинистой составляющей как:

$$CBW = MSIG \times F_s \times Q_v \quad [7.6]$$

Результаты определения граничных значений микропористости глинистых минералов этим методом приводятся в таблице (таб 7.5.), а данные измерения релаксации на 2-х образцах керна, выполненные в 2002 гг. в объединении Тверьгеофизика, на рисунках (рис. 7.13 а-в).

Таблица 7.5 Уточнение некоторых граничных значений времени T_2 (по данным Core Laboratories, 2004)

	Уд поверхность (m^2/g)	СЕС	T_2
--	----------------------------	-----	-------

	ВНУТРЕННЯЯ	ВНЕШНЯЯ	Meg/100g	мсек
КАОЛИНИТ	0	15	1-10	11.0
ХЛОРИТ	0	15	<10	7.0
ИЛЛИТ	5	25	10-40	
СМЕКТИТ	750	50	80-150	
ПЕСЧАНИК	$V_{CL}=15.5\% (Chl=14.4 + Ill=1.1\%)$			2.8

В общем случае, ЯМР-пористость получают из амплитуды регистрируемого сигнала, пропорционального водородному индексу флюида (HI) в области резонанса. Для тяжелых УВ содержащих большое количество примесей, эта величина уменьшается пропорционально возрастанию плотности. Согласно опубликованным данным удельный вес (API) сырых нефтей является хорошим индикатором их водородного индекса. Например Клейнберг (R.L. Kleinberg, 1996) приводит данные, что для нефтей удельным весов около 10 API, HI снижается до 0.72. Это позволяет оптимизировать скважинные измерения при регистрации и вводить необходимые поправки при обработке. Другой особенностью тяжелых разностей являются короткие времена T_2 , связанные с высокой вязкостью флюидов в пластовых условиях. Моррис (C.E. Morris, 1997) предложил эмпирическую зависимость связи с логарифмическим средним времени поперечной релаксации:

$$\eta^{0.9} = 1200 / T_{2LM} \quad [7.7]$$

Для практической оценки вязкости по данным каротажа необходимо, чтобы распределения времен релаксации для УВ- и водяной составляющих не перекрывались. В случае черных сланцев, равно как и в случае тяжелых УВ времена спада смещаются в интервал значений традиционно интерпретируемых как капиллярно-связанная вода. Для решения этой проблемы Ля Торрака (G.A. LaTorraca, 1999) предложил использовать эмпирическое уравнение «непрямой» связи с УВ-насыщением, основанное на занижении ЯМР-пористости по сравнению с другими каротажными методами, при уменьшении $HI < 1$. Определенное кажущееся водородосодержание (H_{IAPP}) связано с общей ЯМР-пористостью (Φ_{NMR}), суммарной пористостью другого каротажного метода, показания которого не зависят от водородосодержания (Φ_{LOG}), и общей УВ-насыщенности (S_{OIL}):

$$HI_{APP} = \frac{S_{OIL} \Phi_{LOG} - (\Phi_{LOG} - \Phi_{NMR})}{S_{OIL} \Phi_{LOG}} \quad [7.8]$$

Анализы серии образцов песчаников, с тяжелыми нефтями из Канады показали, что на величину H_{IAPP} так-же влияет тип активации, и конкретно время между эхо-сигналами T_E . Для оценки вязкости тяжелых УВ (в сПуаз) необходимо ввести соответствующую поправку времени T_E (в мсек):

$$\ln(\eta) = \left(11 + \frac{1.1}{T_E} \right) - \left(5.4 + \frac{0.66}{T_E} \right) \times HI_{APP} \quad [7.9]$$

Пример использования скважинного ЯМР для характеристики структуры порового пространства и выделения возможных участков с подвижными флюидами, в скважине 12-Р Южно-Венихартской показан на рисунке (рис. 7.14). Описание использованных активаций, методик обработки и расшифровка остальных кривых приводится в главе 4. Специфика преимущественно глинистых отложений, и особенно Баженовской свиты, требует дополнительной фильтрации и осреднением большего числа эхо-сигналов. В колонках «T2» и «T2F» (рис. 7.14) приводятся примеры, соответственно стандартной обработки и дополнительной фильтрации по 9-ти уровням. Спектр пористости микропористых разностей после фильтрации позволил сместить стандартные значения отсечек времени T_2 , соответственно до 4.2 мсек. для глинисто-связанной, и до 21.0 мсек., для капиллярно-связанной влаги. Смещение второго граничного значения подтверждается результатами капиллярметрии песчаников пласта Ю-1.

Зона аномального строения Баженовской свиты и генетически связанные с ней толщи внедрения неокотских песчаников были вскрыты в скважине 102 Нижне-Кеумской площади, в интервале 2800-2868 м. (рис. 7.15). Регистрация ЯМР выполнялась прибором ЯМТК и проходила в сложных скважинных условиях. На нескольких участках материалы T_2 были искажены влиянием раствора (2878-87 м.) или отсутствовали. Оценка свойств двух потенциальных коллекторов является качественной т.к. отсутствовали калибровки и данные для прямого моделирования, которые являются критичными в таком сложном объекте.

На спектре поперечной релаксации (VDL) показанном в пятой колонке (T_2) видны два участка с порами более крупного размера, представленные временами релаксации 40-90 мсек (2807-12 м. и 2842-56 м.). Из аналогичных отложений в скважине 51348 Самотлорского месторождения (Усть-Вахский участок) был получен некоммерческий приток УВ с водой. Анализ спектрального распределения на рисунке (7.16 А) показал исключительно неоднородную структуру порового пространства, характеризующуюся чередованием би-модальных и одномодальных распределений с резкими границами и прерывистостью по вертикали. Такие характеристики типичны для отложений подводных оползней, временных потоков и участков внедрения и отмечаются на многих площадях (Кальчинская, Зимняя, Приобская). Для сравнения на рисунке (7.16 В) показано VDL-распределение структуры порового пространства водоносного песчаника горизонта Ю 3-4, интерпретированного как отложения центральной части русла, с преимущественно одномодальными распределениями и относительной выдержанностью как грубозернистых (песчаных) так и мелкозернистых (алевролитовых) участков. При анализе AMR суммарная ЯМР-пористость (MSIG) практически совпала с пористостью определенной по акустике (Хант-Раймер $A=78$, SPHI) и была существенно ниже нейтронной пористости (NPFI). Разница нейтронной и ЯМР-пористости показана светло-серым тонированием. Распределение объемов связанной влаги и ИСФ показанное в последней колонке было сделано с фиксированными граничными значениями отсечек типичных для терригенного разреза и может использоваться только для качественной оценки. Участок размыва в подошве Баженовской свиты (см. показания каверномера) характеризуется типичным высокоамплитудным однородным сигналом ЯМР с максимумом в области капиллярной влаги.

Участок «нормальной» Баженовской свиты показан на рисунке (рис 7.17); пример взят из наклонно-направленной скважины Верхне-Коликъеганского месторождения

компании Варьеганнефтегаз. Эксплуатационная скважина 504 куст 58 была пробурена в 2002 г. с целью добычи нефти из верхнеюрских и ачимовских пластов. Для оценки насыщенности и характеристики проницаемости работающих интервалов в ней была выполнена регистрация ЯМР прибором MRIL-C/tr и выполнена обработка методиками DMR MIRIAN (см. главу ** моно-1). Анализ структуры порового пространства приводится на волновой диаграмме T_2 : красными стрелками отмечены участки «срыва» сигнала микропористости с черных сланцев; черными – участки вероятно содержащие подвижные флюиды. Минимальное время замера частичной поляризации (активации PR) составляло 0.5 мсек., что вероятно недостаточно для полной характеристики черных сланцев, у которых по крайней мере часть ЯМР-спектра попадает в область времен ниже 0.4 мсек. Выше отметки $\times 780$ м. максимум спектра микропористости смещается в сторону больших значений, при этом регистрируется все релаксационное распределение; этот участок соответствует подачимовским темно-серым аргиллитам, аналогичные прослои в Баженовской свите так-же показаны зелеными стрелками.

Анализ структуры порового пространства на диаграмме T_2 VDL под-ачимовской глинистой толщи и черных сланцев Баженовской свиты, в скважине 103 Усть-Тегусской площади, показан на рисунке (рис. 7.18). Сходная картина наблюдается и в скважине 16 Урненской площади (рис. 7.19).

ТАБЛИЦА 7.1.

Связь выделяемых биофаций с обстановками накопления черных сланцев и некоторые их геохимические характеристики (из Wignall, 1994, с изменениями)

БИОФАЦИИ КИСЛОРОДНОГО ГОЛОДАНИЯ	1	2	3	4	5	6	
ТЕРМИН ¹	АНАЭРОБНЫЙ		ЭКС-АЭРОБНЫЙ		ДИС-АЭРОБНЫЙ (НЕДОСТАТОЧНЫЙ)		АЭРОБНЫЙ ²
ОБСТАНОВКА	БЕЗКИСЛОРОДНАЯ		ОБЕДНЕННАЯ (КИСЛОРОДНОЕ ГОЛОДАНИЕ)				ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ
КОЛИЧЕСТВО РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА ³	0	0-0.2	0.2 - 2.0				2.0<
ПИРИТ	МНОГОЧИСЛЕННЫЕ ФРАМБОИДЫ И НЕБОЛЬШИЕ КРИСТАЛЛЫ				ТОЛЬКО ВЫПОЛНЕНИЕ ПОР		ОТСУТСТВИЕ ИЛИ СЛЕДЫ
ИЗОТОПЫ СЕРЫ (S) В ПИРИТЕ	ОТ ЛЕГКИХ ДО ТЯЖЕЛЫХ				ТОЛЬКО ЛЕГКИЕ		
СТЕПЕНЬ ПИРИТИЗАЦИИ ⁴	1.0-0.75		0.75 - 0.5				0.5>
УРАН Ua (ppm) ⁵	>15	15-10	10-5?				2>
V/(V+Ni) ⁴	1.0 - 0.83	0.83 - 0.47	0.57 - 0.46				0.46>

1. терминология, использованная П.Б.Вигналлом, 1994;

2. т.е. с улучшенным кислородным обменом;

3. мл. O₂ на литр H₂O;

4. рассчитывается как отношение пиритового Fe к сумме пиритового и кислого Fe

5. По юрским отложениям Великобритании (P.B.Wignall & Myers, 1988, 1992);

ТАБЛИЦА 7.6

Связь граничных значений поперечной релаксации $T_{2\text{CUT-OFF}}$ с функцией «J» и капиллярным давлением P_K
(по материалам *W. Thungsuntonkhum* и *T.W. Engler*, 2004 с изменениями)

ЛИТОТИП	КЕРН				ЯМР ⁴			РАССЧЕТЫ					
	$\Phi_{\text{ТОТ}}$	K	S_w	P_K	ρ	ρ_{eff}	T_2	RQI	K_{cf} ⁵	P_K ⁶	P_K ⁷	$J(S_w)_1$	$J(S_w)_2$
	%	мД	%	psi	$\mu\text{m/ms}$	$\mu\text{m/ms}$	ms	μm		Psi	psi		
ПЕСЧАНИК ЧИСТЫЙ	9.7	2.15	54.1	16.7	0.009915	0.00642	57.2	0.1478	14.72	28.44	42.31	0.237	0.261
ПЕСЧАНИК ЧИСТЫЙ	20.5	4449	42.9	1.25	0.034216	0.023	348	4.6258	6.63	1.30	6.96	0.555	0.388
ПЕСЧАНИК ЧИСТЫЙ	16.7	1030	39.9	1.92	0.022176	0.0111	332	2.4660	8.91	2.83	7.29	0.454	0.335
ПЕСЧАНИК ГЛИНИСТЫЙ	23.0	0.503	72.6	98.2	0.012347	0.00998	8.83	0.0464	5.51	118.50	274.11	0.438	0.426
ПЕСЧАНИК ГЛИНИСТЫЙ	23.1	0.245	75.3	110	0.010567	0.00792	7.74	0.0323	6.40	170.35	312.71	0.341	0.395
ПЕСЧАНИК ГЛИНИСТЫЙ	26.9	117	58.5	6.52	0.042026	0.0251	34.4	0.6549	4.87	12.09	70.36	0.410	0.453
ПЕСЧАНИК ГЛИНИСТЫЙ	26.8	18.1	63	11.5	0.027189	0.0158	21.0	0.2580	4.90	31.47	115.26	0.285	0.452
ПЕСЧАНИК ГЛИНИСТЫЙ	24.8	113	62.9	7.08	0.043068	0.0199	35.3	0.6703	5.14	14.87	68.57	0.455	0.441
ИЗВЕСТНЯК	11.2	0.078	52.9	125	0.001622	0.0126	57.8	0.0262	12.81	14.34	41.88	0.314	0.279
ИЗВЕСТНЯК	14.6	1.33	59.2	26	0.003419	0.00316	88.6	0.0948	10.22	37.30	27.32	0.237	0.313
ИЗВЕСТНЯК	12.5	0.252	65.3	43.5	0.001536	0.00126	102	0.0446	12.34	81.25	23.73	0.186	0.285
ИЗВЕСТНЯК	10.5	12.3	51.8	6.53	0.003136	0.00326	419	0.3399	14.95	7.64	5.78	0.213	0.259
ИЗВЕСТНЯК	6.4	0.287	66.9	23.5	0.000899	0.000996	328	0.0665	19.67	31.96	7.38	0.150	0.225
ИЗВЕСТНЯК	7.8	1.58	65.7	12.6	0.001610	0.00199	400	0.1413	20.76	13.12	6.05	0.171	0.219
ИЗВЕСТНЯК	14.9	41.4	48.0	4.47	0.002346	0.00251	715	0.5234	10.27	5.82	3.39	0.225	0.321
ДОЛОМИТ	15.8	7.14	49.0	19.6	0.007367	0.00534	87.5	0.2111	9.28	22.40	27.72	0.397	0.328
ДОЛОМИТ	19.2	2.54	54.8	38.0	0.005377	0.00458	61	0.1142	8.25	37.38	39.68	0.417	0.348

$$\text{Где } J(S_w)_1 = 1/\sqrt{K_{cf}}; \text{ и } J(S_w)_2 = 0.217 \times \frac{P_K}{\sigma \cos \Theta} \sqrt{\frac{K}{\Phi}} \quad [7.10]$$

Приложение к Таблице 7.6

⁴ ЯМР-данные взяты из публикации D. Marschall et.al., 1995;

⁵ Kozeny factor - сочетание двух параметров: извилистости поровых каналов и функции структуры (F_s);

⁶ Данные капиллярометрии из публикации D. Marschall et.al., 1995;

⁷ Данные капиллярометрии из публикации Y. Volokitin et.al., 1999

Связь между диаметром поровых каналов измеряемых ртутной порометрией и диаметром собственно пор измеряемом ЯМР осуществляется введением параметра собственной эффективной релаксивности породы (ρ_{eff}). Он определяется для каждого образца по наилучшему совпадению распределений T_2 и порометрии. При общем совпадении форм распределения времени поперечной релаксации и данных керна есть основание утверждать, что между диаметром поровых каналов и диаметром пор существует устойчивая связь. Алтунбай (M. Altunbay et.al., 2001) подчеркивал, что для пор любой фиксированной формы эта связь является функцией структуры породы, и предлагал определять её по керну. Волокитин (Y. Volokitin et.al., 1999, 2001) на основании изучения коллекции из 186 образцов утверждал, что для стандартных песчаников эта величина является постоянной, и предлагал введение новой переменной «К» связанной с распределением капиллярного давления следующим уравнением:

$$K(P_K) = K \times \left[1 + \frac{4}{\left(\frac{200}{P_K} + 1 \right)^{10}} \right] \quad [7.11]$$

Если принять трубочную модель распределения порового пространства, то функция «J» может быть записана в виде:

$$J(S_w) = \frac{1}{\rho T_2(S_w)} \sqrt{\frac{K}{\Phi}} \quad [7.12]$$

Это уравнение может быть переписано в виде, предложенном Охеном (A.H. Ohen et.al., 1995), для характеристики однородного участка коллектора:

$$\log \left[0.314 \sqrt{\frac{K}{\Phi}} \right] = \log \left[\frac{\rho}{\sqrt{F_s \tau(S_w)}} \right] + \log [T_2(S_w)] \quad [7.13]$$

Где F_s – функция текстуры породы (константа), τ – коэффициент извилистости поровых каналов, вклад которых учитывается введением фактора Козени «Kcф»;

ССЫЛКИ

1. Никонов В.Ф., Ревнивых В.А., Кос И.М., Важенина О.В. Баженовская свита: геологическая история и нефтеносность. В сб. «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. 3 научно-практическая конференция»/Ханты-Мансийск, изд-во «Путиведь», 2000, стр. 138-143
2. Мкртчян О.М., Трусов Л.Л., Белкин Н.М., Дегтев В.А. Сейсмогеологический анализ нефтегазоносных отложений Западной Сибири. М., Наука, 1987 г. – 126 с.
3. Соколовский А.П., Соколовский Р.А. Аномальные типы разрезов баженовской и тутлеймской свит в Западной Сибири. В сб. «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО» Материалы 5 научно-практической конференции. «Вестник недропользователя ХМАО», №11, 2002 г., стр.64-69.
4. Филиппович Ю.В. Типы и механизмы формирования аномальных разрезов баженовского горизонта и ачимовской толщи. «Вестник недропользователя ХМАО», №4, 1999 г., с.30-34.
5. Плавник Г.И., Олейник Е.В. Неокомские оползневые явления на Урьевской и Поточной площадях Среднего Приобья. «Вестник недропользователя ХМАО», №10, 2002 г., стр. 47-58
6. Шпильтман А.В., Плавник Г.И. Основные направления региональных исследований нижнемеловых отложений Западной Сибири. В сб. «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. 5 научно-практическая конференция»/Ханты-Мансийск, изд-во «Путиведь», 2002, т.1, стр.118-127.
7. Афанасьев С.Л., Мазур В.М., Ровнина Л.В., Сынгаевский П.Е. Наноциклитный метод определения геологического возраста нефтяных юрских отложений ападной Сибири. В сб. "Прогнозы и циклы", 1996.
8. Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др., Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтегазоносность). Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.
9. Гришкевич В.Ф. Макет стратиграфической схемы мезозойских отложений центральных районов Западно-Сибирской равнины и его теоретическое обоснование.// В сб. «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Материалы 4 научно-практической конференции./Ханты-Мансийск, изд-во «Путиведь», 2001, с.130-142.
10. Сидоренко О.В., Зонн М.С., Корж М.В. Некоторые закономерности формирования и коллекторские свойства глинистых пород баженовской свиты Западной Сибири. М., ИГиРГИ, 1986, 40 с.
11. Сб. «Строение и нефтегазоносность баженинов Западной Сибири», Тюмень, 1985, 174 с.
12. Месежников М.С. К биостратиграфии верхнеюрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири: Баженовская свита и ее аналоги//Палеобиогеография и биостратиграфия юры и мела Сибири. М., Наука, 1983, с.32-46.
13. Кулахметов Н.Х., Никитин В.М., Ясович Г.С., Валицкий Ю.В. Особенности корреляции шельфовых отложений неокома Среднего Приобья с использованием сейсморазведки МОВ ОГТ./Геология нефти и газа, 1983, №5, с. 44-48.
14. Нежданов А.А., Туманов Н.Н., Корнев В.А. Аномальные разрезы баженовской свиты и их сейсмогеологическая характеристика.//Сейсморазведка для литологии и стратиграфии./Труды ЗапСибНИГНИ, Тюмень, 1985, с.64-71.
15. Нежданов А.А., Пономарев В.А., Туренков Н.А., Горбунов С.А. Ачимовские отложения Западной Сибири. М., изд-во Академии горных наук, 2000 г., 247 с.
16. Плавник Г.И., Олейник Е.В. Неокомское оползневое тело Урьевско-Поточной площади Среднего Приобья.
17. Стоу Д.А.В. Морские глубоководные терригенные отложения.//Обстановки осадконакопления и фации, под ред. Х.Ридинга. М.; Мир, с.141-194.
18. Соколовский А.П., Соколовская О.А., Соколовский Р.А. Литолого-фациальное моделирование песчаных тел верхней юры в пределах южных районов Тюменской области в свете оценки перспектив их нефтегазоносности. «Вестник недропользователя ХМАО», №8, 2001 г., стр.44-50.
19. AGI - Толковый словарь английских геологических терминов (в 3-х т.). Мир, Москва, 1977.
20. Force Eric R., Eidel J. James, and Maynard J.Barry (ed.). Sedimentary and Diagenetic Mineral Deposits: a Basin Analysis Approach to Exploration. Reviews in Economic Geology, Volume 5, 1991.

21. Martin P. and J. Darcy. Effective Ov by NMR Core Tests. SPWLA 45th Annual Logging Symposium, 2004, paper HH.
22. Ripley E.M. & Shaffer N.R.. Organic matter and metal enrichment in black shales of the Illinois Basin, USA.
23. Thungsuntonkhun W., T.W. Engler, Applying NMR-Hydraulic Flow Units Technology to Estimate J-Function and Capillary Pressure. SPWLA 45th Annual Logging Symposium, 2004, paper EE.
24. Wignall P.B. Black Shales. University of Leeds, 1994.

Библиография. Дополнительные работы

- Arab, H., 1990, "Bitumen Occurrence and Distribution in Upper Zakum Field", Society of Petroleum Engineers, Paper Number 21323.
- Altunbay, M., Martain, R., and Robinson, M., (2001) "Capillary Pressure Data from NMR Logs and Its Implications on Field Economics," SPE paper 71703, presented at the Sept. SPE Annual Technical Conference, New Orleans, LA.
- Austin, S.P. and Ganley, S.M., 1991, The measurement of the cation exchange capacity of core plugs by a nondestructive 'wet' chemistry method: Advances in Core Evaluation II - Reservoir Appraisal; reviewed proceedings of the second Society of Core Analysts European Core Analysis Symposium, Worthington, P.F, and Longeron, D. eds, Gordon and Breach Science Publishers, Paris, 1991, 293-308.
- Boer, R. B. de, et al., 1992, "Screening of Crude Oils for Asphalt Precipitation: Theory, Practice and the Selection of Inhibitors", Society Petroleum Engineers, Paper Number 24987.
- Chuanliang Li, 2000, The Method for the Determination of the Initial Oil Saturation with Mercury Injection Curve: Xinjiang Petroleum Geology, Vol. 21 (5): 418-419.
- Deng, Shaogui and Fan, Yiren, 2000, Experiment study of rock resistivity with multi-temperature and multi-salinity: Oil Geophysical Prospecting, Vol.35(6): 763-767.
- Eslinger, E. and Pevear, D., 1988, Clay Minerals for Petroleum Geologists and Engineers: SEPM Short Course Notes No. 22, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, 1988.
- Fan, Yiren and Deng, Shaogui, 2002, Theoretical and Experimental Studies of Membrane Potential in Shaly Sands for Improved Rw calculation: SPWLA 43rd Annual Logging Symposium.
- Glorioso C., J., Aguirre, O., Piotti, G., and Mengual F., J., Deriving Capillary Pressure and Water Saturation from NMR Transversal Relaxation Times, 2003, paper SPE 81057 presented at the April SPE Latin American and Caribbean Petroleum Conference, Trinidad.
- He, Chengzu and Hua, Mingqi, 1998, The Thickness of water film in oil and gas reservoirs: Petroleum Exploration and Development, 1998, Vol. 25 (2): 75-77.
- Hill H.J. and Milburn J D., 1950, Effect of clay and water salinity on Electrochemical Behavior of Reservoir Rocks: Petroleum Transactions. AIME, 1950, Vol. 207:65-72.
- Hirschberg, A., et al., 1984, "Influence of Temperature and Pressure on Asphaltene Flocculation", Society of Petroleum Engineers Journal, June 1984, 283-294.
- Hirschberg, A., 1988, "Role of Asphaltenes in Compositional of Reservoir's Fluid Column", Journal of Petroleum Technology, January 1988, 89-94.
- Jiang, E., Wang, J., Sun, B. and Zeng, X., 1999, The Theory and Application of Electrochemical Well Logging: Well Logging Technique, Xi'an (August 1999).
- Kuang, Lichun and Mao, Zhiqiang, 2002, On the Controlling Factors of Irreducible Water Saturation in the Low Resistivity Pay Zone of Cretaceous Formation in Lu-9 Area, Junggar Basin: Well Logging Technique, 2002, 26(1): 14-17.
- Lowden, D. B., Porter, J. M., and Powrie, S., L., (1998) "T₂ Relaxation Time Versus Mercury Injection Capillary Pressure: Implications for NMR Logging and Reservoir Characterization," paper SPE 50607, presented at the SPE European Petroleum Conference, The Hague, Netherlands, October 20-22, 1998, p. 323-334.
- Mao, Zhiqiang and Gao, Chuqiao, 2000, Theoretical simulation of the resistivity and pore structure of hydrocarbon bearing rocks: Petroleum Exploration and Development, 2000, Vol. 27 (2): 87-90.
- Marschall, D., Gardner, S J., Mardon, D., and Coates, R. G., (1995) "Method for Correlating NMR Relaxometry and Mercury Injection Data," paper SCA 9511, SCA International Symposium Proceedings.
- Ohen A. H., Ajufo, O. A., Curby M. F., (1995) "A Hydraulic (Flow) Unit Based Model for the Determination of Petrophysical Properties from NMR Relaxation Measurements," paper SPE 30626, presented at the October Annual SPE Conference, Dallas, TX.

- Rose, W. Jr., and Bruce, W. A., (1949) "Evaluation of Capillary Character in Petroleum Reservoir Rock," Trans AIME, Vol. 186, 127-142.
- Thungsuntonkhum W., Integrating NMR with Open Hole Logs to Improve Reservoir Description, 2003. PhD Dissertation, New Mexico Tech, Socorro, NM.
- Yun, H, Zhao, W., and Zhou, C., 2002, Researching Rock Pore Structure with T2 distribution: Well Logging Technique, 2002, Vol. 26(1): 18-21.
- Volokitin, Y., Looyestijin, J.W., Slijkerman, F. W., and Hofman, P. J., (2001) "A Practical Approach to Obtain Primary Drainage Capillary Pressure Curves from NMR Core and Log Data," Petrophysics, Volume 42, No. 4, July-August, p. 334-343.
- Wang, Weimin and Sun, Dianqing, 1997, The Fundamental Study On Nmr Logging: Well Logging Technique, Vol. 21(6): 385—392.
- Weng, Aihua and Jiang, Yizhong, 2001, Experiments on Salinity Effect on Fluid Nuclear Magnetic Resonance Property: Well Logging Technique, Vol. 25(6): 401-404.
- Wilhelms, A., and Later, S. R., 1994, "Origin of Tar Mats in Petroleum Reservoirs", Marine and Petroleum Geology, Volume 11, Number 4, pp. 418-456.
- Wilhelms, A., Carpentier, B., and Hue, A. Y., 1994, "New Methods to Detect Tar Mats in Petroleum Reservoirs", Journal of Petroleum Science and Engineering 12, pp. 147-155.
- Zhou, Cancan and Cheng, XiangZhi, 2001, Improved T2 cutoff Value Determination with Core NMR and Conventional Irreducible Water Measurements: Well Logging Technique, Vol. 25 (2): 83-88.

ГЛУБИНА
(м)

50

120

170+/-

200 +



e

f

d

g

c

j

h

b

a

ЧЕРНЫЕ
СЛАНЦЫ

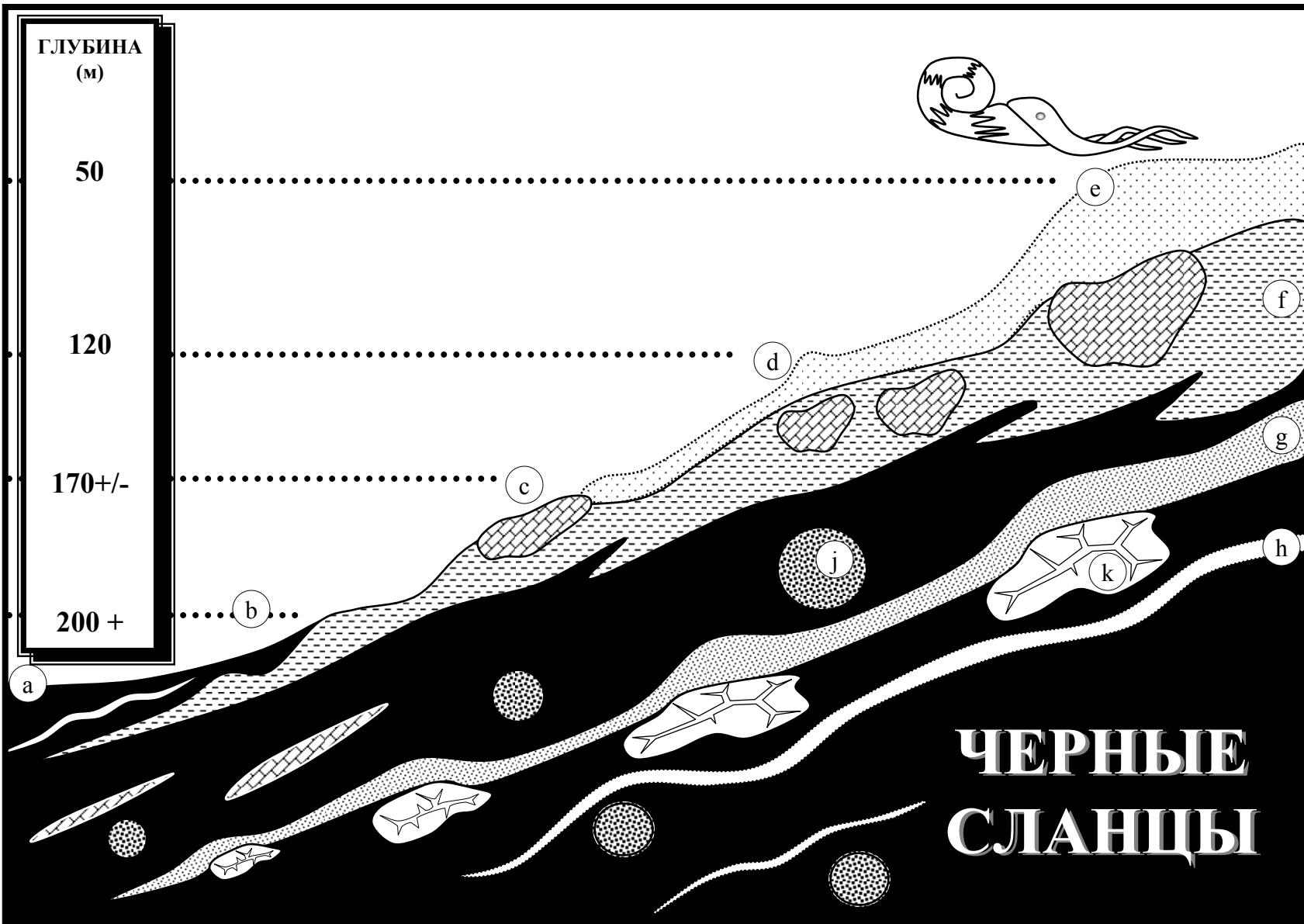


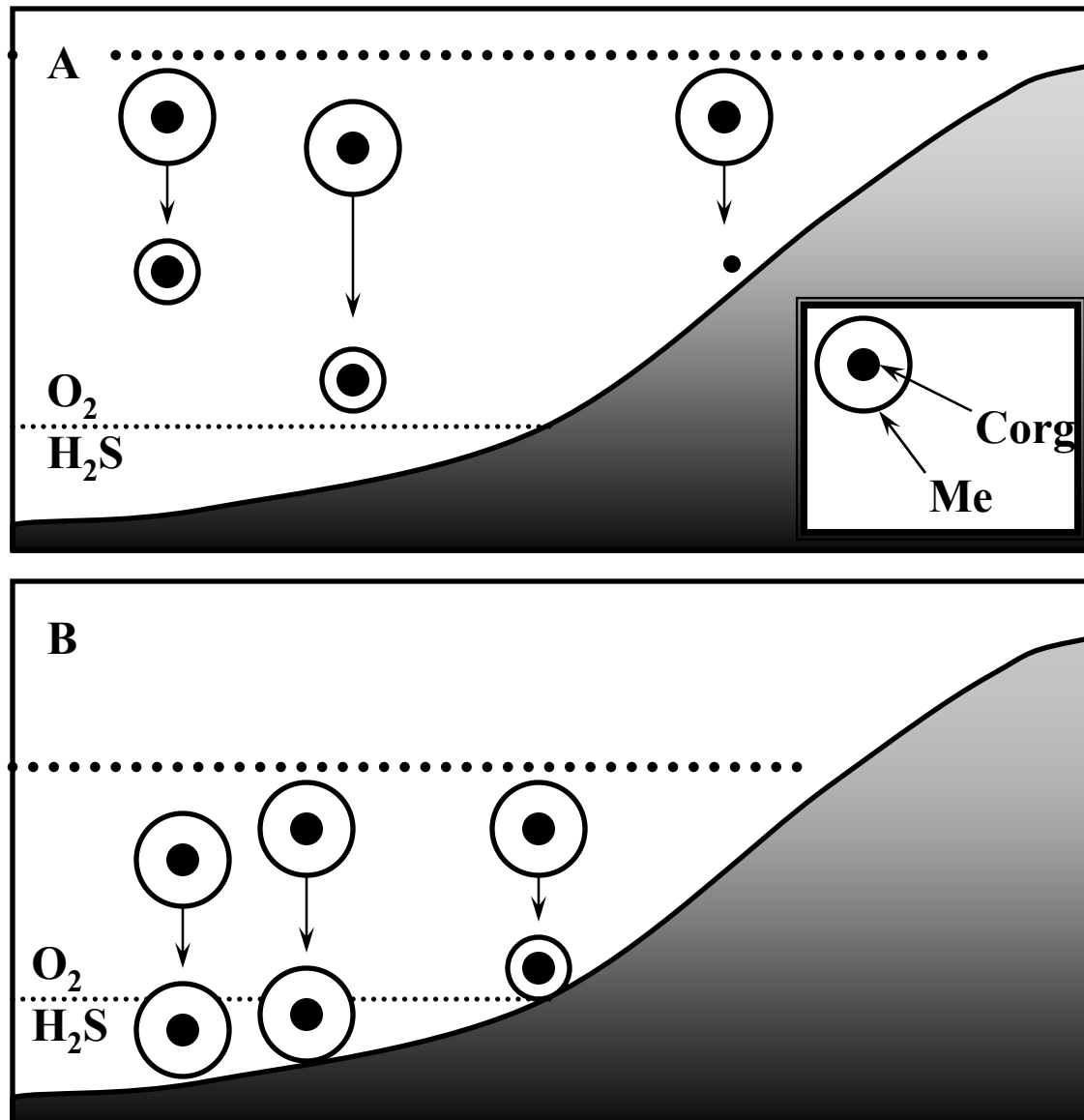
Рисунок 7.1

Черные сланцы. Модель внутренней волновой эрозии предложенная Брайдом и Бреттом (Braid & Brett, 1991; с изменениями).

Аэробные воды с улучшенным кислородным обменом расположены выше отметки 50м.; дис-аэробные с недостаточным обменом в интервале 50 - 170(?) м.; экс-аэробные воды или воды с затрудненным обменом, соответственно 170 - 200 м.; и бескислородные, анаэробные воды ниже отметки в 200 м.

Обозначения: **a** - сапропелевое вещество; **b** - основание пикноклина; **c** - коррозия пирита и переработка карбонатных конкреций; **d** - внутренняя волновая эрозия склона, покровы сложенные обломками известняков и пирита; **e** - абразия палеосклона, возможно развитие кораллов и других организмов; **f** - известковистые глины; **g** - алевро-песчаные и глинистые турбидиты; **h** - кремнистые силициты; **j** - пиритовые конкреции; **k** - карбонатно-глинистые стяжения с синерезисом и секреции; масштаб на рисунке не соблюдался.

Рисунок 7.2

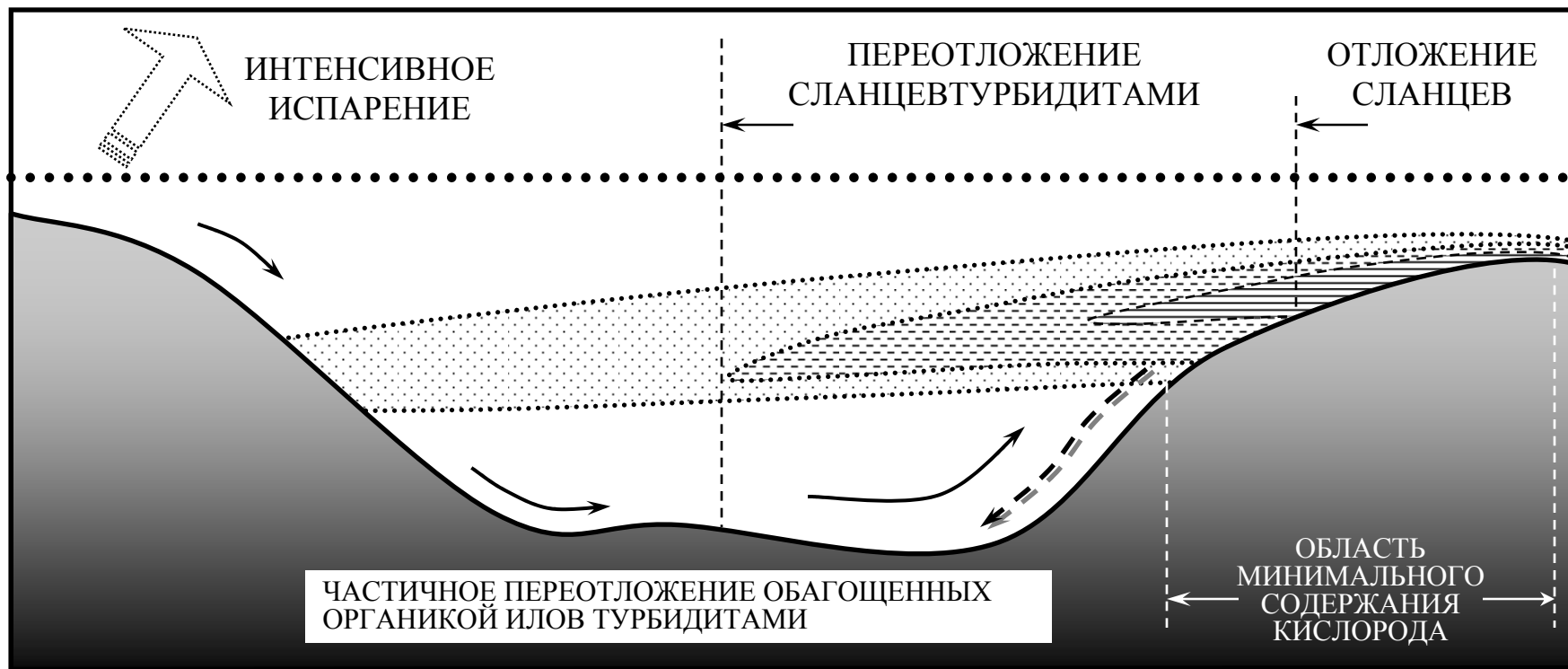


На модели показана ситуация, когда металлы адсорбируются на поверхностях органических частиц, поступают вместе с ними на дно, где участвуют в диагенетических процессах. Когда граница раздела O_2/H_2S приближена к поверхности моря (B) металлы могут избегать процессов окисления и переработки, как это происходит при большом столбе, случай (A). Соответственно на верхней диаграмме накапливаются малые количества органики и металлов, а на нижней - их значительно больше.

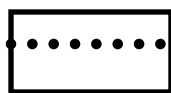
(По материалам Ripley E.M. & Shaffer N.R., 2004 с изменениями)

Рисунок 7.3

МОДЕЛЬ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ СЕНОМАН-ТУРОНСКОГО ВОЗРАСТА



ТЕПЛЫЕ СОЛЕННЫЕ
ДОННЫЕ ВОДЫ



УРОВЕНЬ МОРЯ

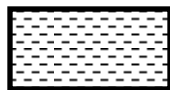


ДНО БАССЕЙНА

ОБСТАНОВКИ



БЕЗКИСЛОРОДНАЯ



НИЖНЯЯ ДИС-
АЭРОБНАЯ



ВЕРХНЯЯ ДИС-АЭРОБНАЯ



АНАЭРОБНАЯ

Рисунок 7.3.

МОДЕЛЬ ТАК-ЖЕ ПОЛУЧИЛА НАЗВАНИЕ : РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ
МИНИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА

Во время трансгрессий возрастает площадь мелководного шельфа, что приводит к избыточному поступлению теплых масс солёной воды, и как следствие - более энергичной циркуляции. Соответственно, возрастает подъем глубинных вод к поверхности (апвеллинг), и происходит разрастание и интенсификация области с минимальным содержанием растворенного кислорода. Формирование черных сланцев в таком режиме приводит к их трансгрессивному налеганию на осадки мелководного шельфа.

Рисунок 7.4

ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСГРЕССИВНЫХ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

(WIGNALL P.B., 1994)

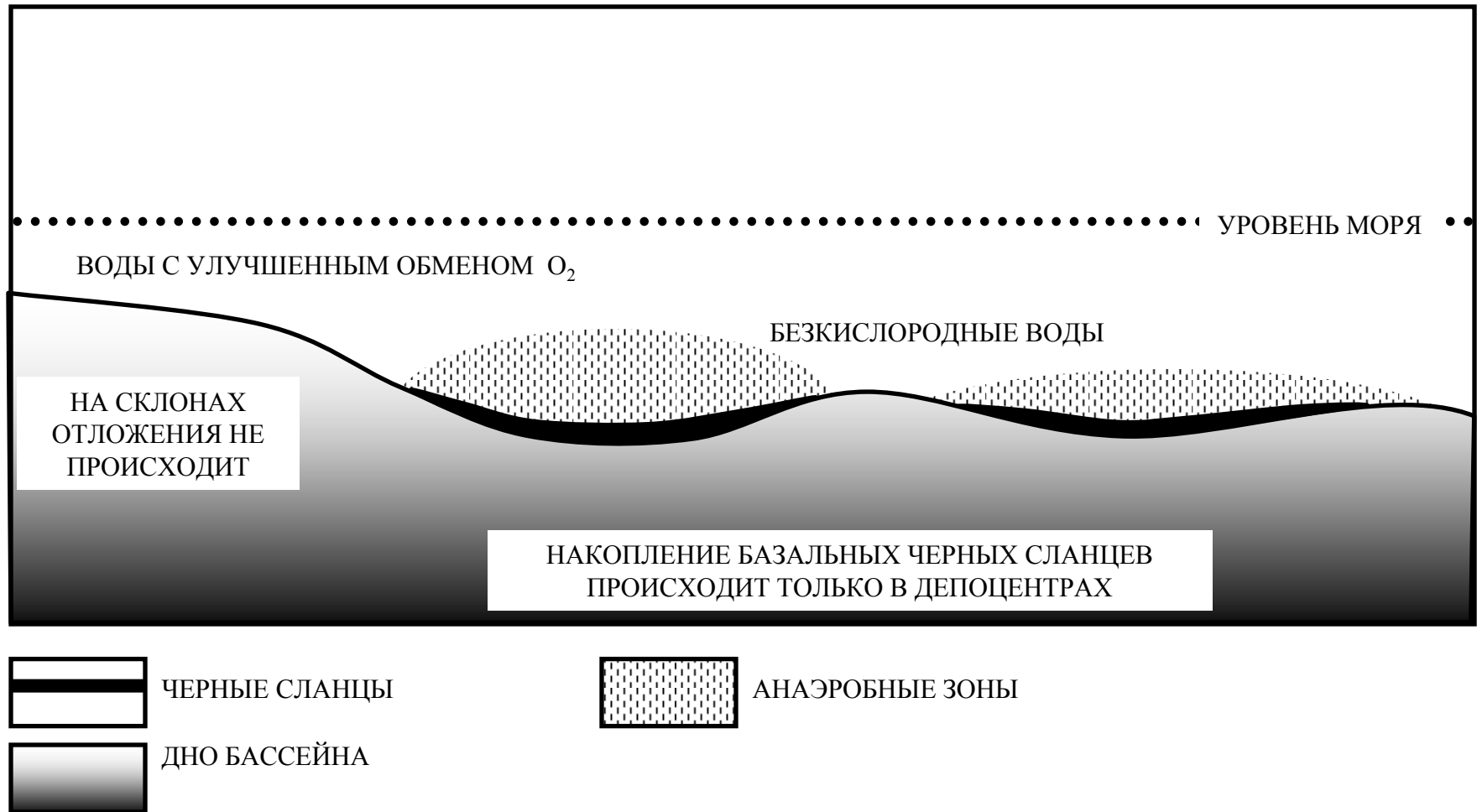


Рисунок 7.5

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ (WIGNALL P.B., 1994)

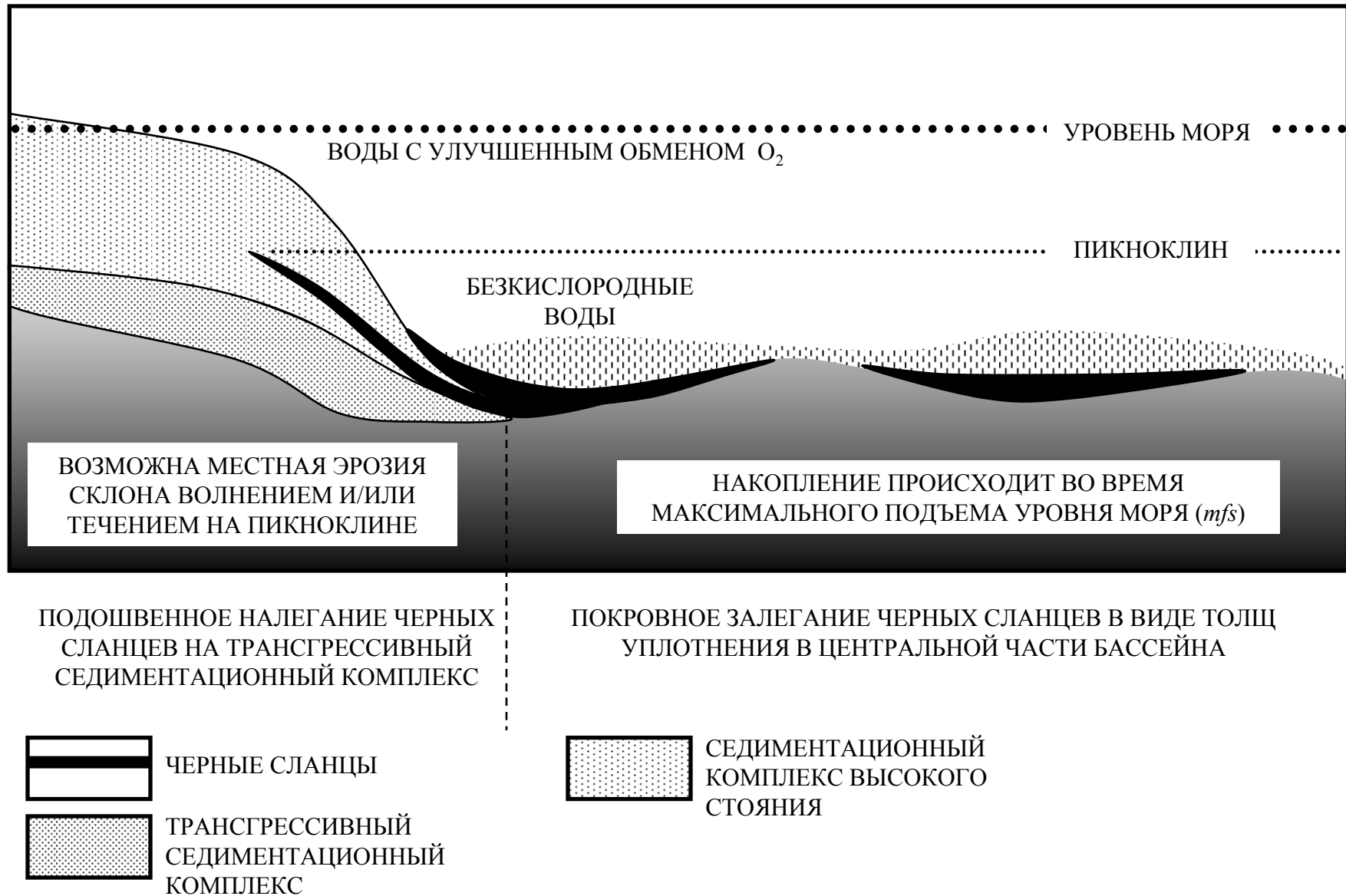
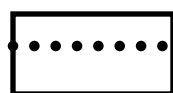
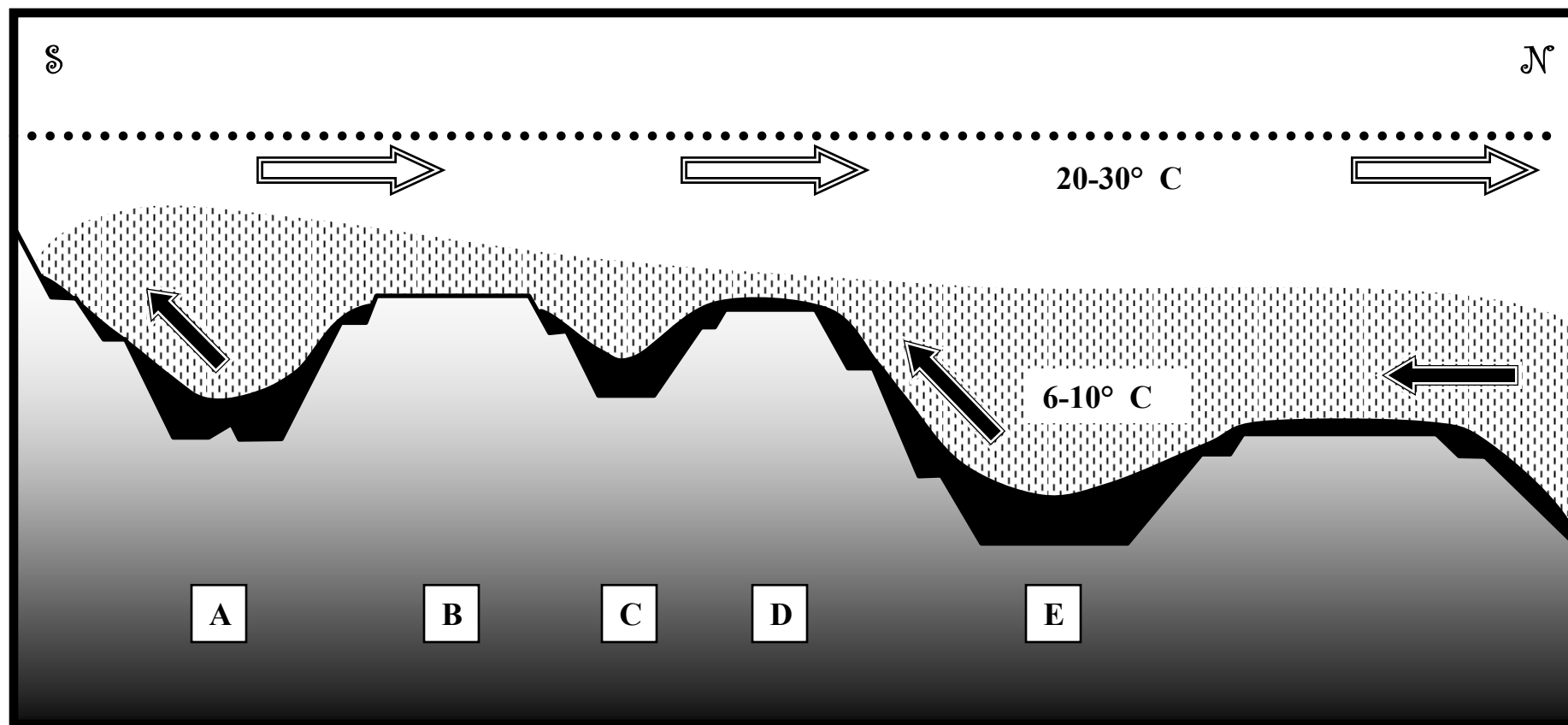
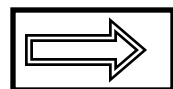


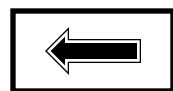
Рисунок 7.6
 МОДЕЛЬ ЧЕРНЫХ КИММЕРИДЖСКИХ ГЛИН (OSCHMANN, 1988)



УРОВЕНЬ МОРЯ



ОТТОК ТЕПЛЫХ ВОД



ПРИТОК ХОЛОДНЫХ ВОД

ОБСТАНОВКИ



ФОРМИРОВАНИЯ
 ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ



БЕЗКИСЛОРОДНАЯ



КИСЛОРОДНАЯ



ПОРОДЫ
 ФУНДАМЕНТА

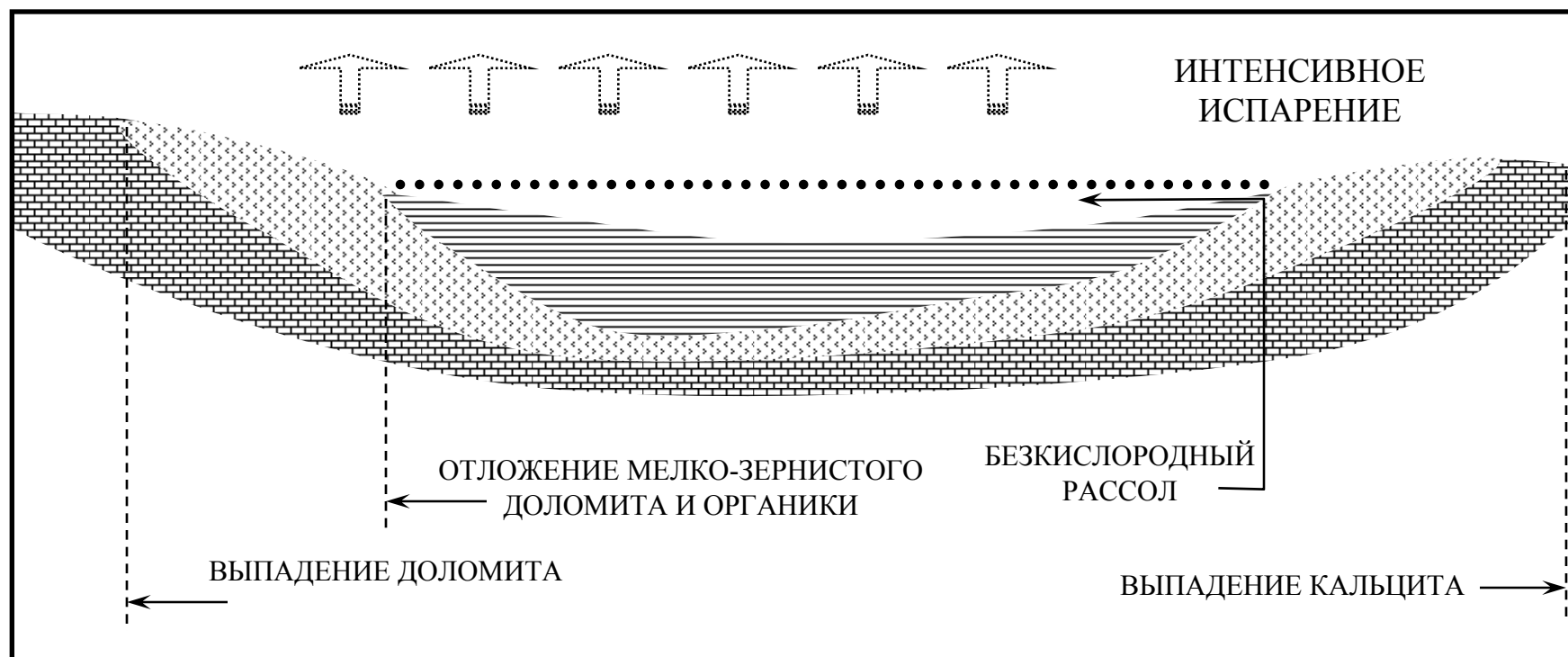
Рисунок 7.6

Модель формирования Киммериджских Глин предложенная Ошманном (1988). Холодные воды северной Атлантики с пониженным содержанием кислорода циркулируют, нагреваясь и обогащаясь кислородом в верхних слоях. Полностью противоположную точку зрения высказывал Миллер (Miller, 1979), согласно которой теплые соленые воды располагались внизу, а более пресные - сверху. В этом случае стратификация являлась результатом различий в солености и плотности, а не температур.

Обозначения: А - бассейн Вессекс (Wessex); В - Массив Лондон-Брабант (London-Brabant Massif); С - центральный грабен (Central Graben); D - Срединное поднятие Северного Моря (Mid North Sea High); Е - грабен Викинг (Viking Graben); масштаб на рисунке не соблюдался.

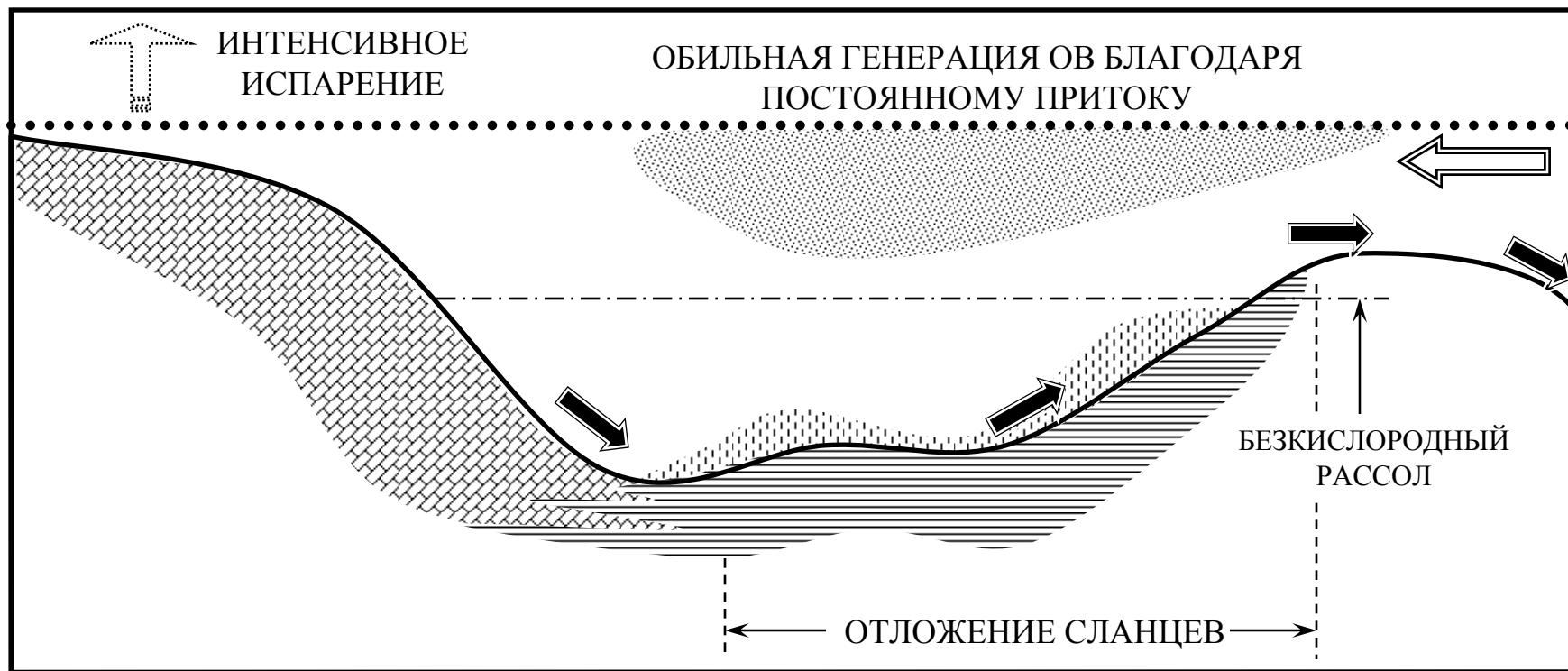
Рисунок 7.7

МОДЕЛЬ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ ОЗЕРА-ПЛАЙИ (EUGSTER & SURDAM, 1973)



Модель формирования черных сланцев в системе типа пересыхающего озера - плайи, основанная на изучении обнажений свиты Грин Ривер.

Рисунок 7.8
 МОДЕЛЬ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ ЭВАПОРИТОВОГО БАССЕЙНА
 (KIRKLAND & EVANS, 1981)



..... УРОВЕНЬ МОРЯ

← ПРИТОК

→ ОТТОК

ОБСТАНОВКИ

БЕЗКИСЛОРОДНАЯ

АЭРОБНАЯ

ЭВАПОРИТОВАЯ

Рисунок 7.8

Модель формирования черных сланцев в эвапоритовом бассейне основана на идее отрицательного водного баланса, типичного для засоленных лагун. Соленость поверхностных вод постоянно повышается, благодаря интенсивному испарению. При этом на внешнем склоне откладываются, черные сланцы и эвапориты, на внутреннем - преимущественно эвапориты, а в центре - смесь карбонатов богатых органикой. Масштаб модели, по сравнению с современными лагунами был увеличен в несколько раз (Kirkland & Evans, 1981).

Рисунок 7.9

СОВРЕМЕННЫЕ ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

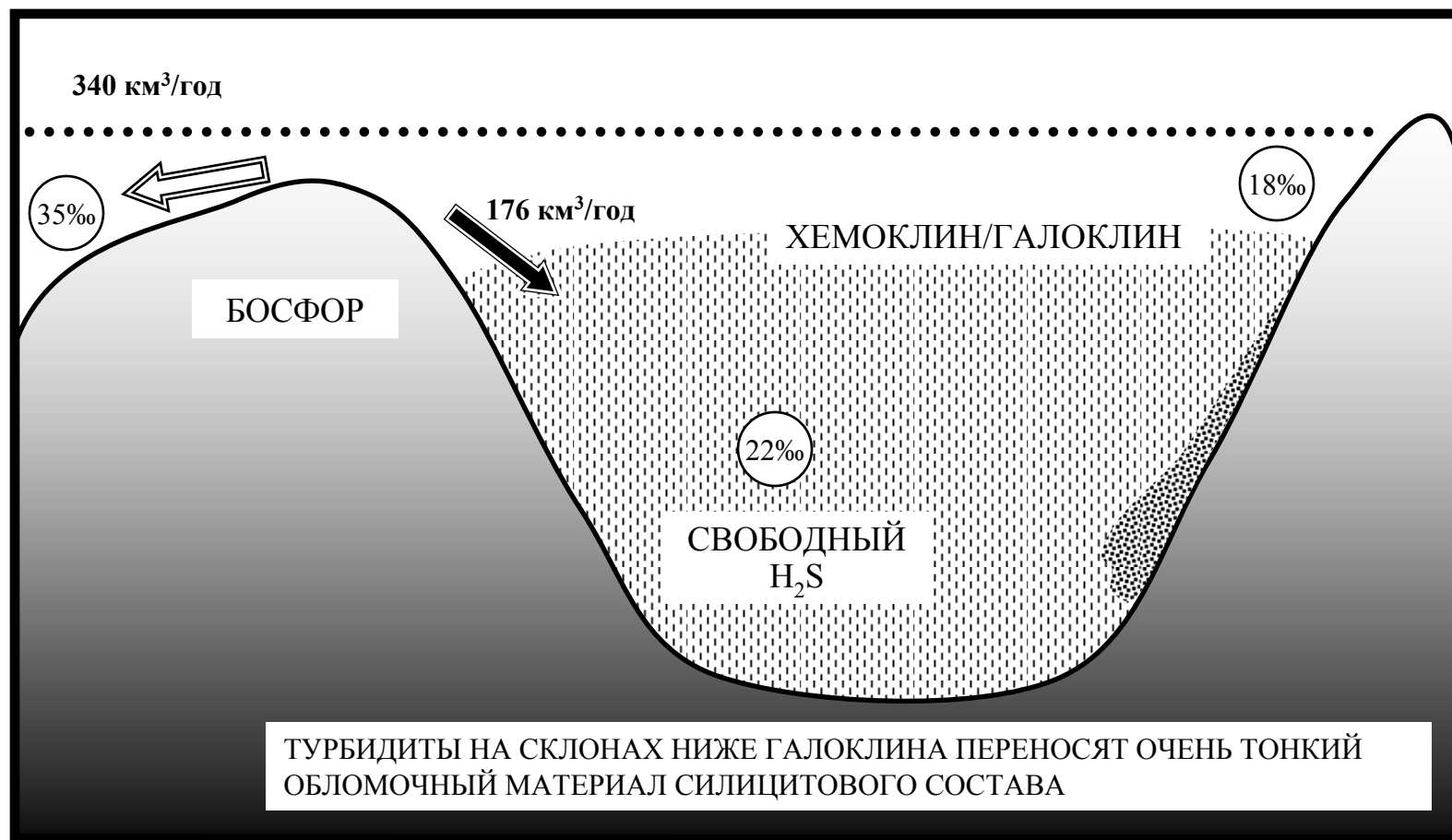


ТАБЛИЦА 7.2 ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКОВ ЧЕРНОГО МОРЯ (DEGENS & ROSS, 1974)

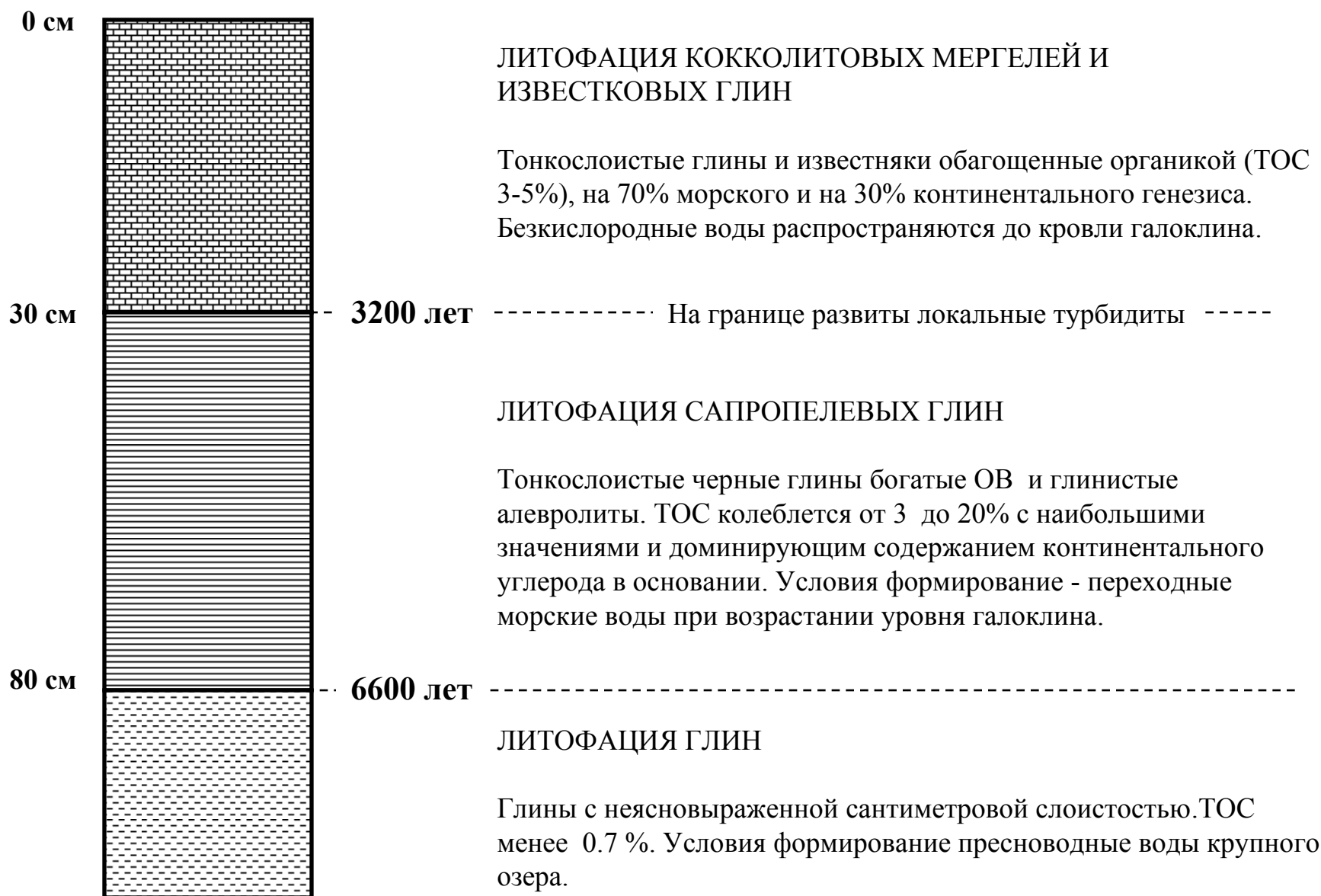


Рисунок 7.10а ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПО
ДАНЫМ КАРОТАЖА (PASSEY Q.R., 1990; С ИЗМЕНЕНИЯМИ)

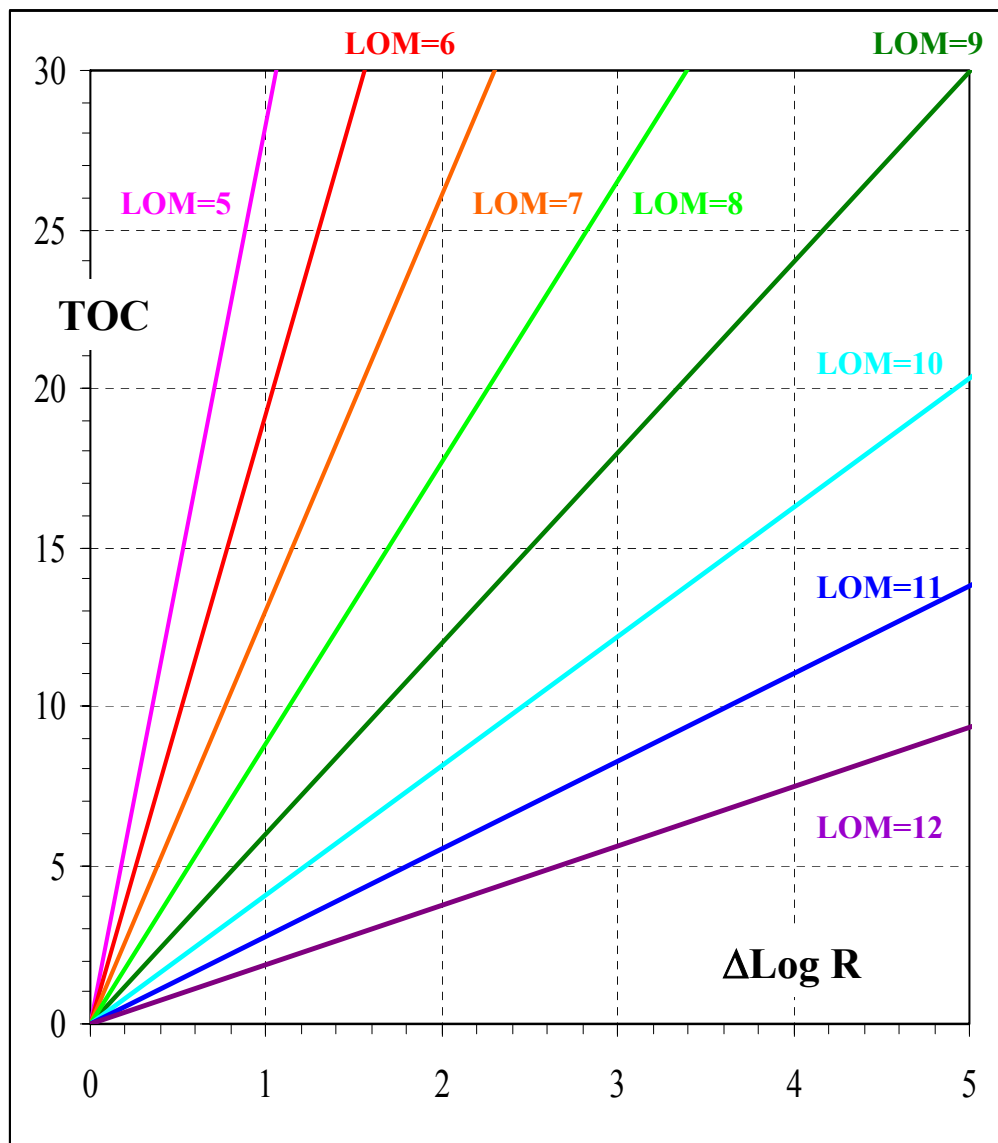


Рисунок 7.10b/c ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА (PASSEY Q.R., 1990; С ИЗМЕНЕНИЯМИ)

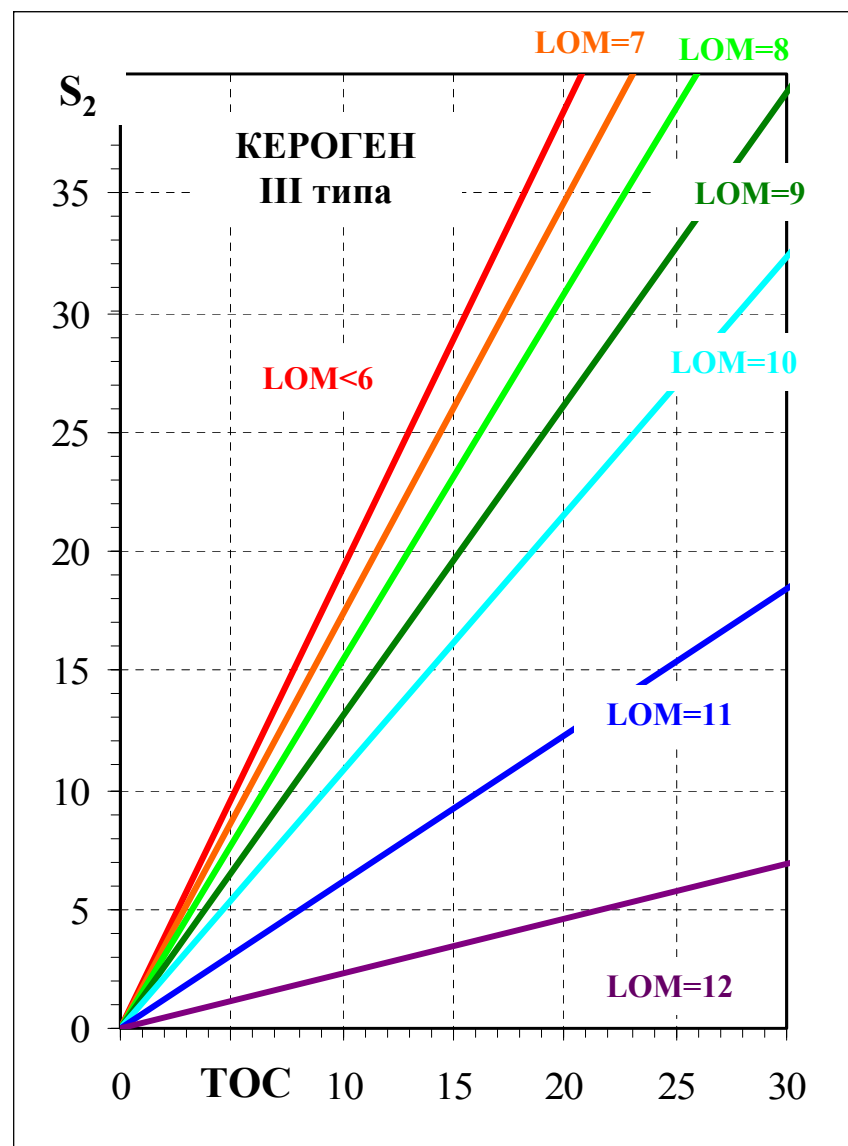
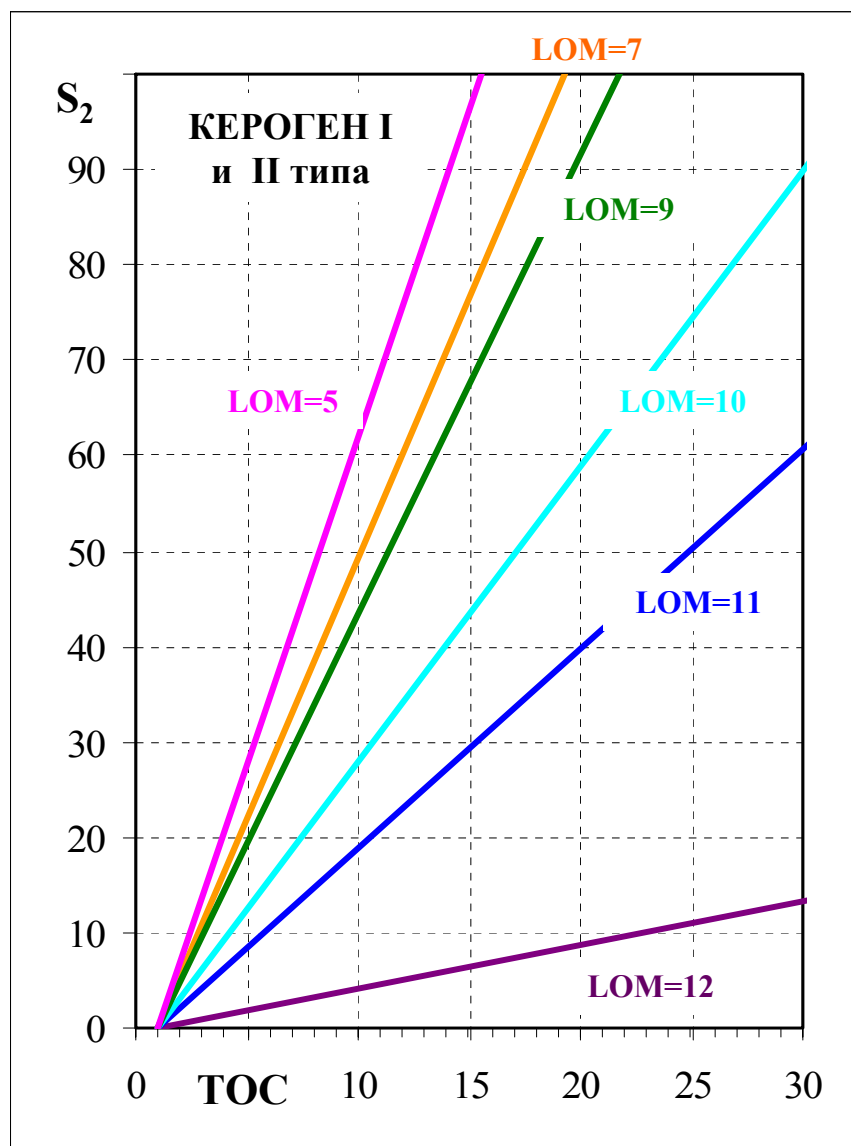


Рисунок 7.11
Скважина 7 Северо-Демьянской площади.
Выделение нефтегенерационной толщи в программе Presgraf (Landmark).

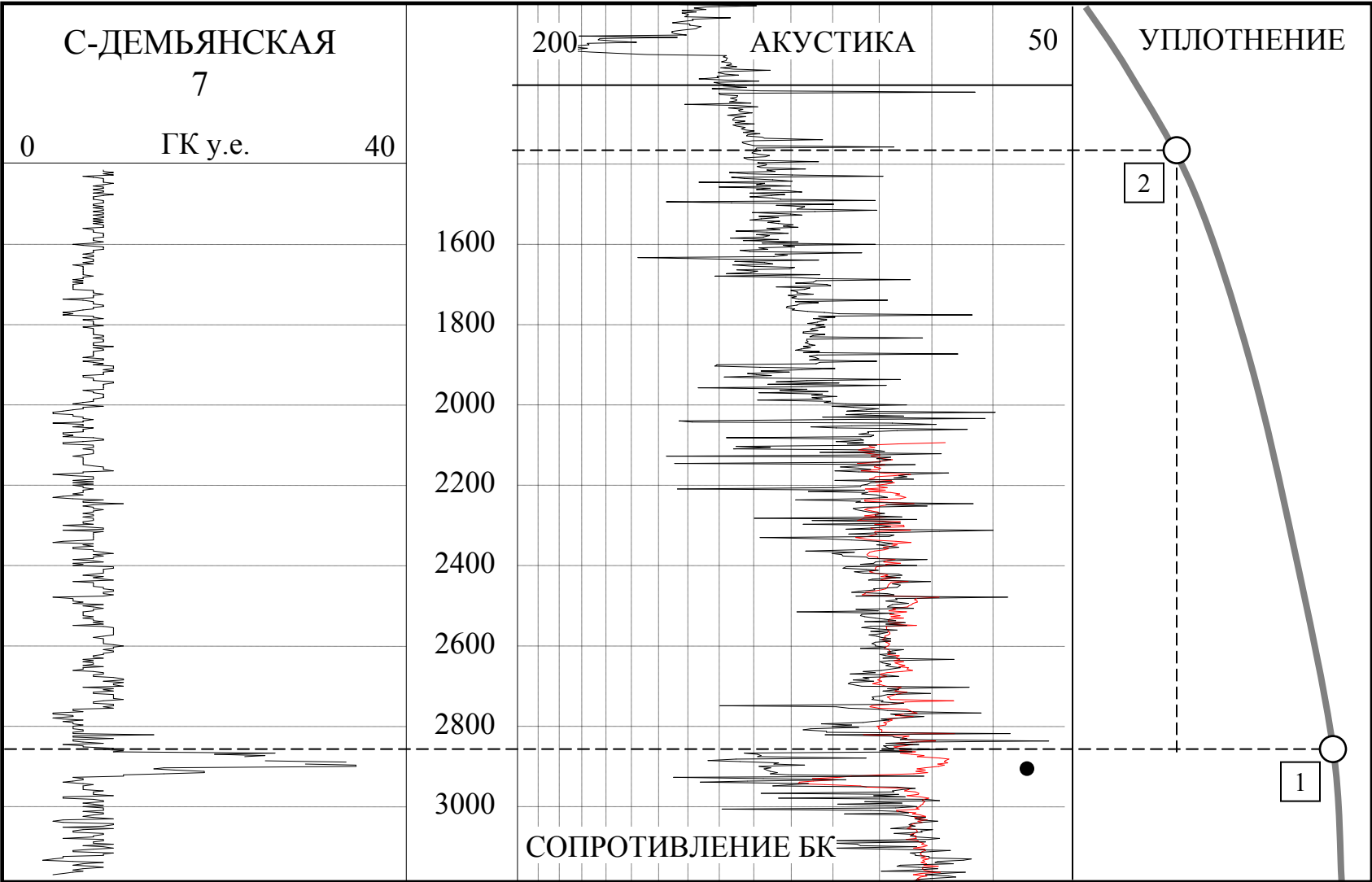


Рисунок 7.11

Северо-Демьянское месторождение, скважина # 7.

В первой колонке показаны кривые ГК (зелёным) и ПС (красным), во второй колонке - показания кавернометрии (масштаб 150-350 мм.), в третьей колонке показания градиент-зонда сопротивлений (черным) в логарифмическом масштабе 1-100 ом., и интервальное время пробега - дельта Т (синим) в линейном масштабе 450-50 мсек/м., соответственно время в чистой аргиллитовой толще около 280 мсек/м. Положение участка с опорной линией (пунктир) совпадения показаний сопротивления и акустики показано цифрой 1. Баженовские черные сланцы обладают основным генерационным потенциалом (цифра 2), соответственно в них отмечается существенное расхождение кривых АК и сопротивления обозначенное как $\Delta \text{Log R}$ (показано стрелкой). В пределах Баженовской свиты можно заметить два различных участка - в верхнем это расхождение существенно больше. Отметим, что нижележащие Абалакские аргиллиты так-же показывают некоторое расхождение (цифра 3), а в Тюменской свите (цифра 4) выкрашивание углей не позволяет провести такой анализ.

Рисунок 7.12
Скважина 1836 Ем-Еговской площади.
Выделение нефтегенерационной толщи в программе Presgraf (Landmark).

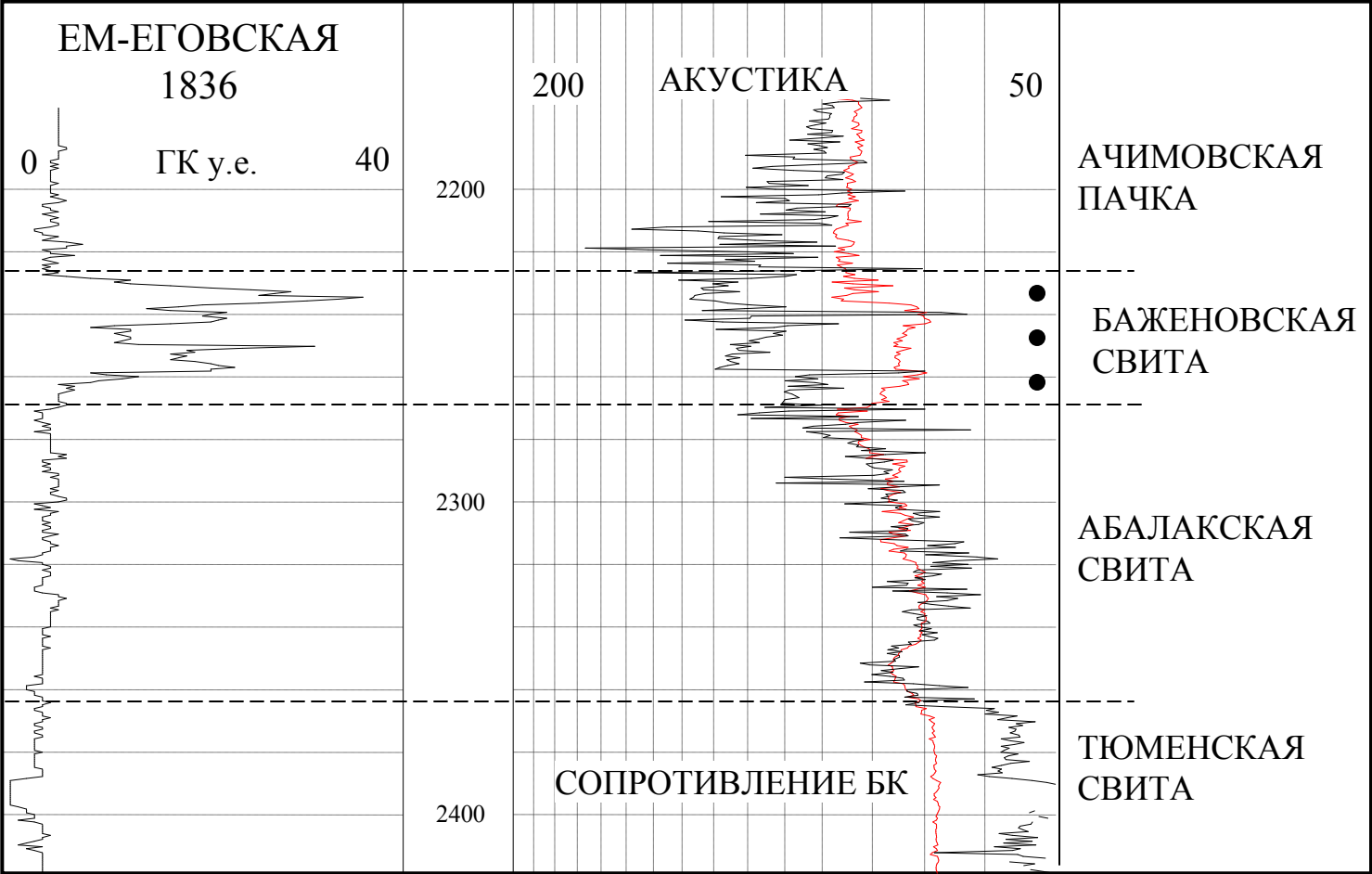
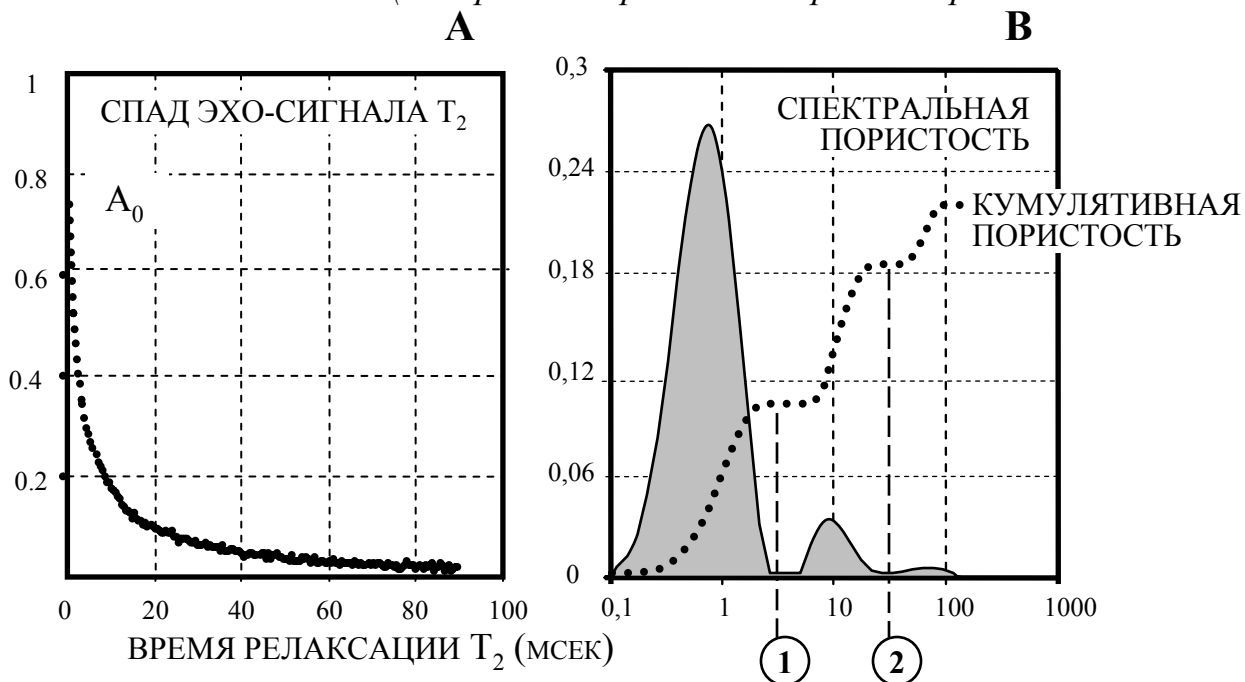


РИСУНОК 7.13 А-В

СПАД РЕЛАКСАЦИИ T_2 , СПЕКТРАЛЬНАЯ И КУМУЛЯТИВНАЯ ПОРИСТОСТИ
БАЖЕНОВСКАЯ СВИТА, ОБРАЗЕЦ Б14846

(измерения на релаксметре CoreSpec-1000 объединением ТверьГеофизика, 2002 г.)

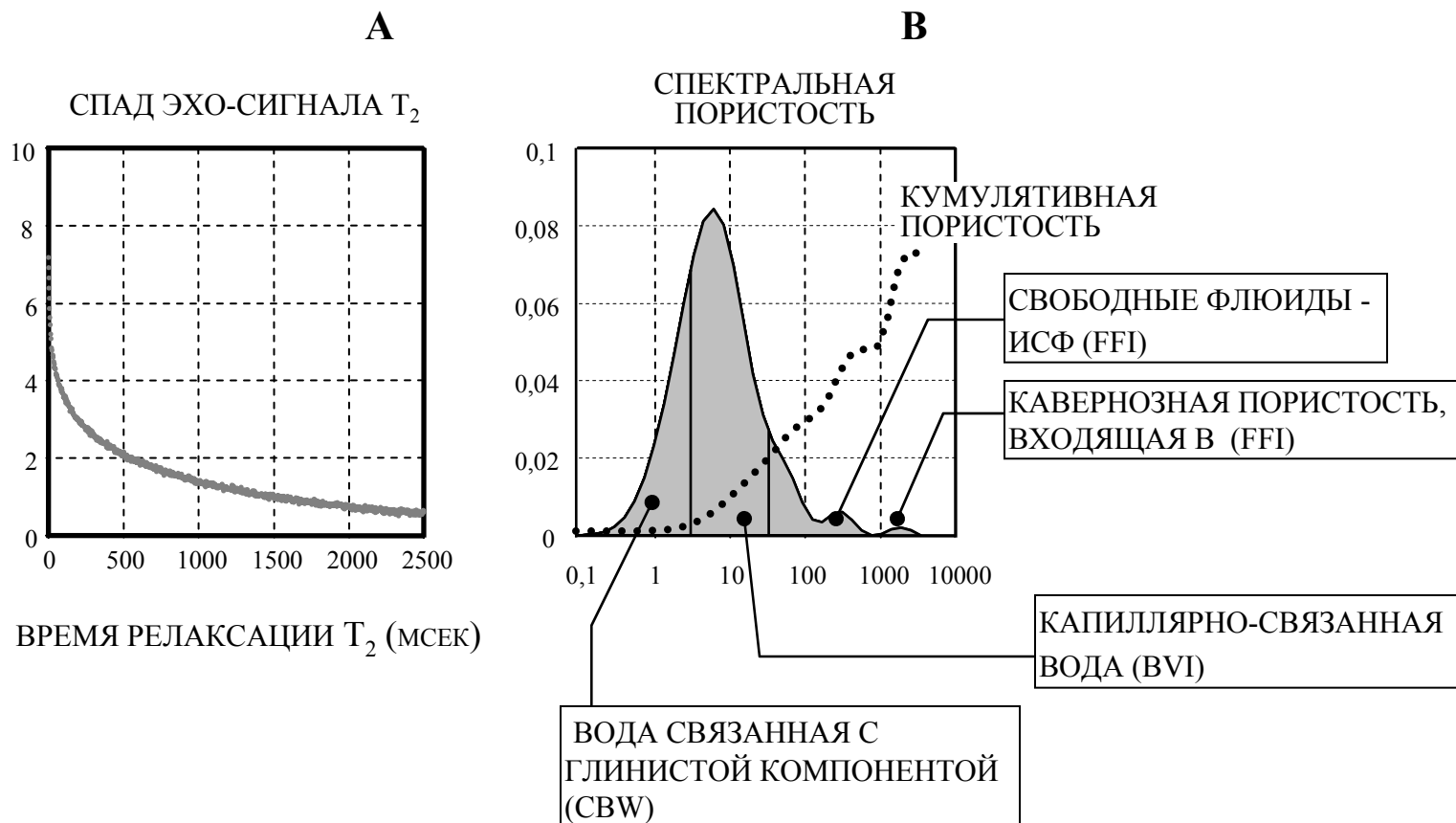


НА ГРАФИКЕ В ПОКАЗАНЫ ГРАНИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПОРИСТОСТИ; СООТВЕТСТВЕННО 1. СВW-СВVI И 2. СВVI-FFI; A_0 – НАЧАЛЬНАЯ АМПЛИТУДА СПАДА ЭХО-СИГНАЛА СВЯЗАНА С СУММАРНОЙ (ОБЩЕЙ) ПОРИСТОСТЬЮ ОБРАЗЦА.

РИСУНОК 7.13 А-В

СПАД РЕЛАКСАЦИИ T_2 , СПЕКТРАЛЬНАЯ И КУМУЛЯТИВНАЯ ПОРИСТОСТЬ
ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ, ОБРАЗЕЦ С КАВЕРНОЗНОЙ ПОРИСТОСТЬЮ

(измерения на релаксометре CoreSpec-1000 объединением ТверьГеофизика, 2002 г.)



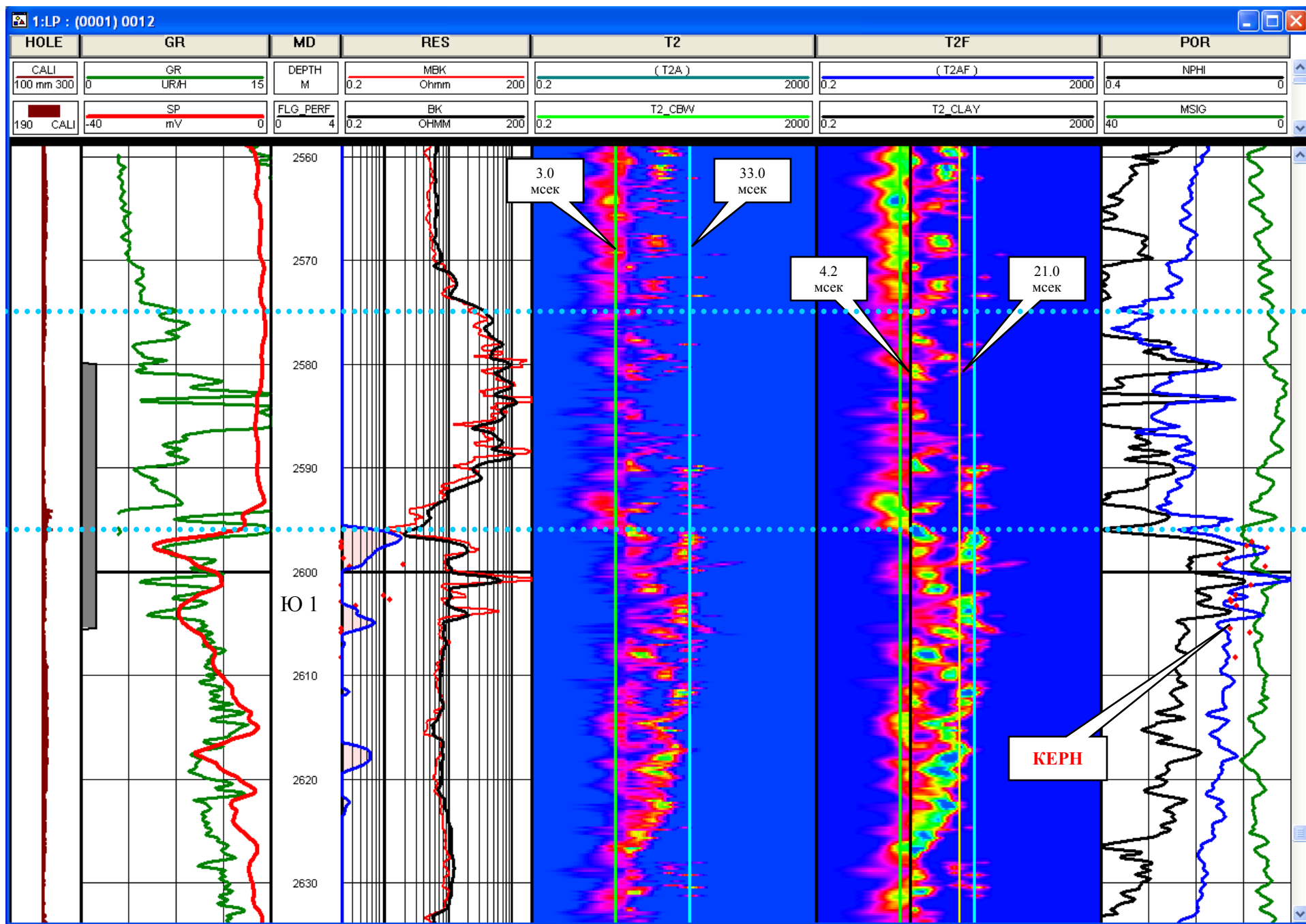


Рисунок 7.14 Ю-Венихяртская скважина 12-Р, дополнительная фильтрация времен T2 в диапазоне менее 33.0 мсек.

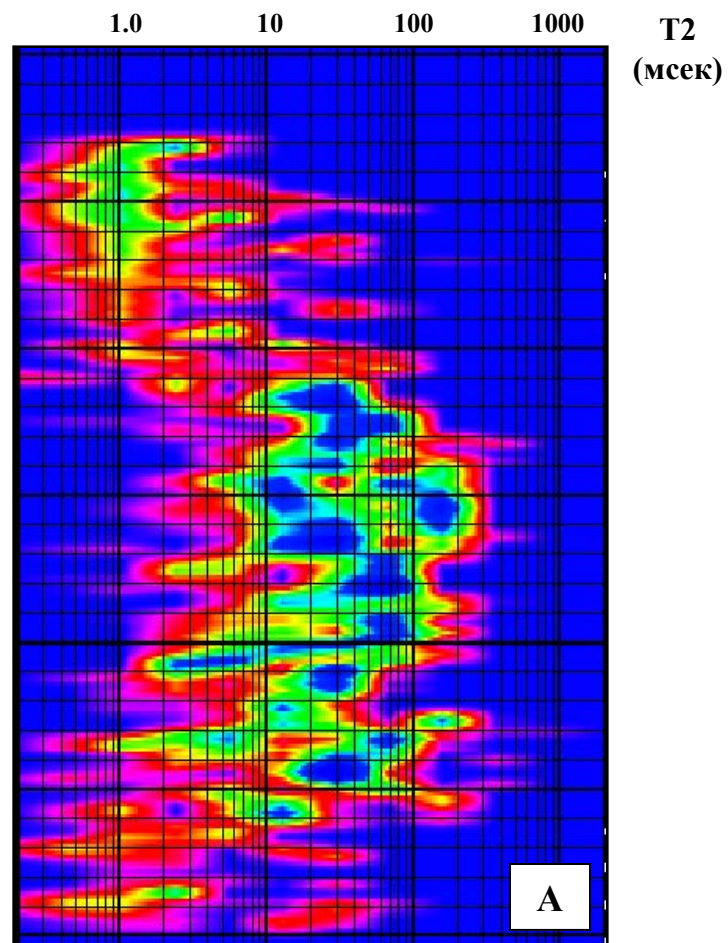
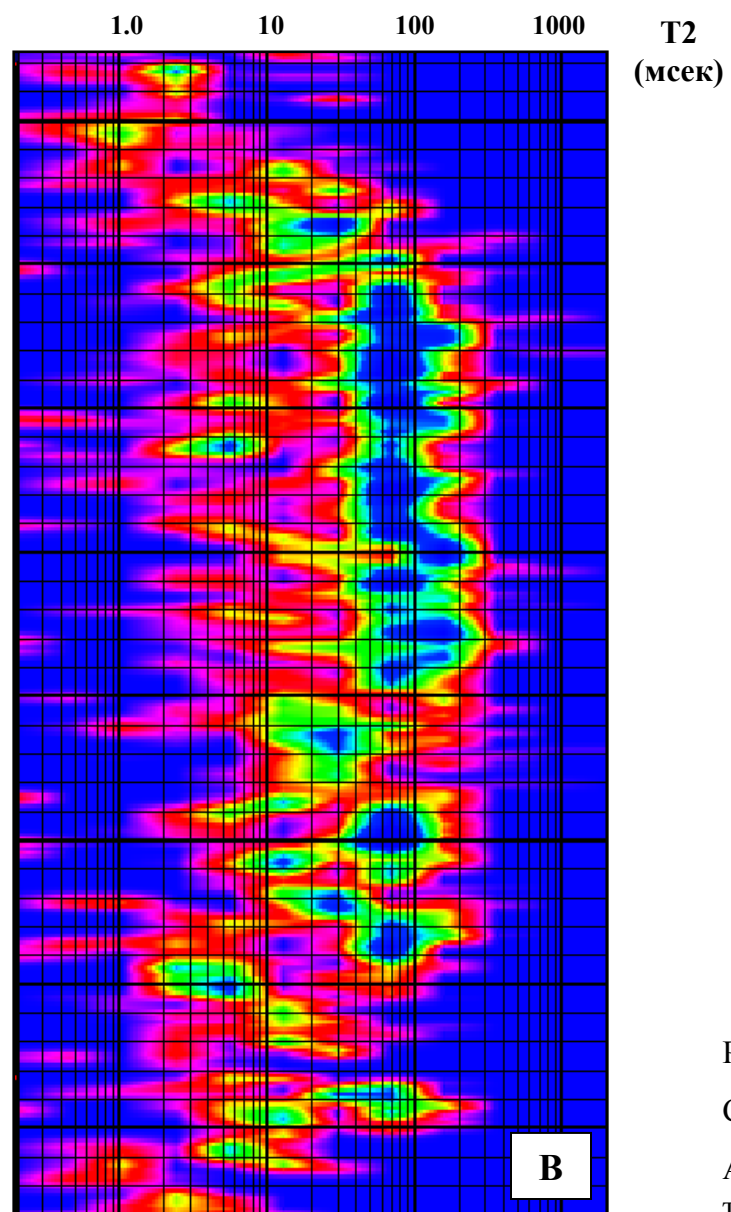


Рис. 7.16

Скважина 102 Нижне-Кеумской площади

Анализ структуры порового пространства на диаграмме T2 VDL. А) толщина внедрения неокома и В) центральная часть русла Ю 3-4.

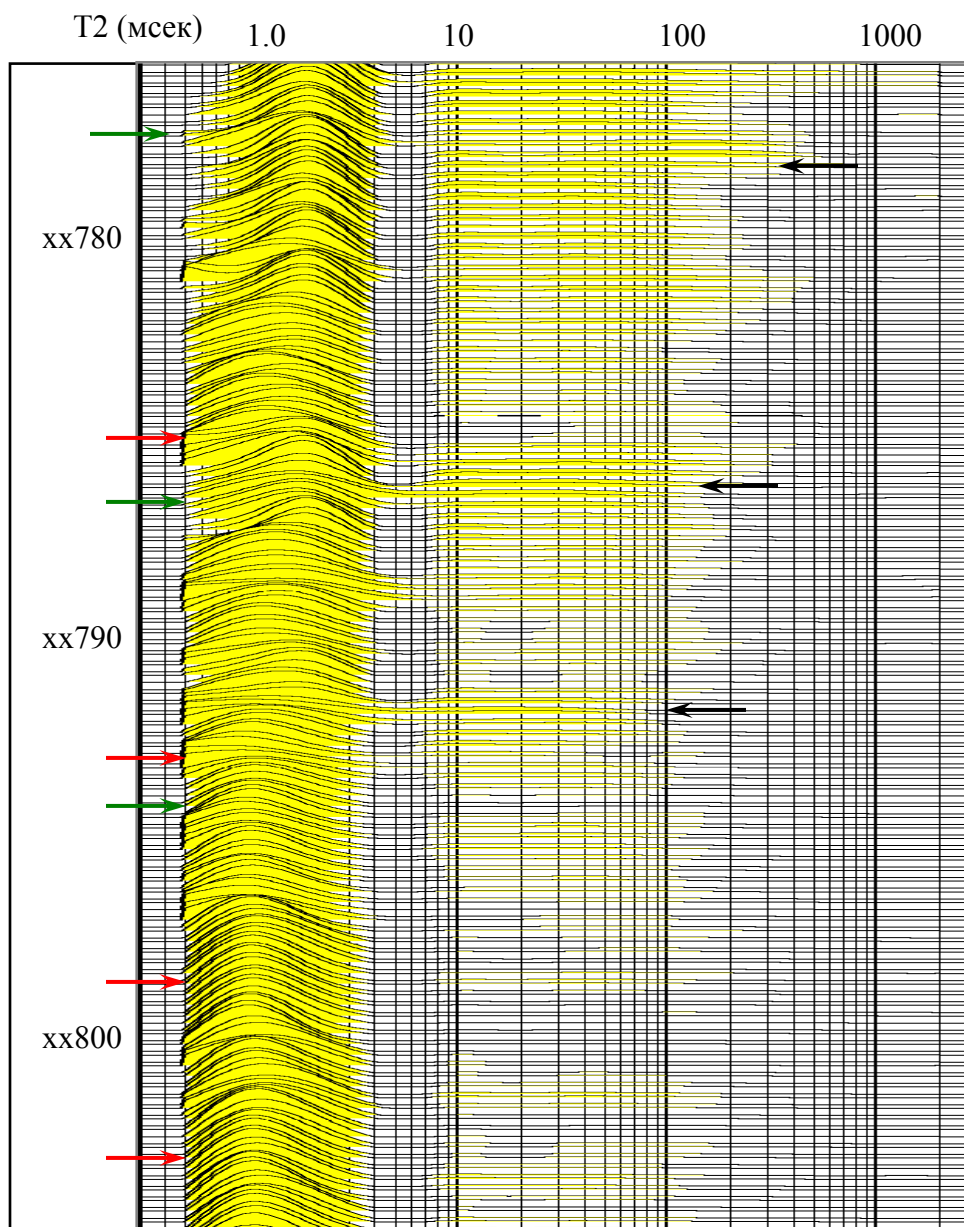


Рис. 7.17

Наклонно-направленная скважина 504 куст 58 Верхне-Коликъеганской площади.

Анализ структуры порового пространства на волновой диаграмме T2. Красными стрелками показаны участки «срыва» сигнала микропористости с черных сланцах; черными – участки содержащие подвижные флюиды.

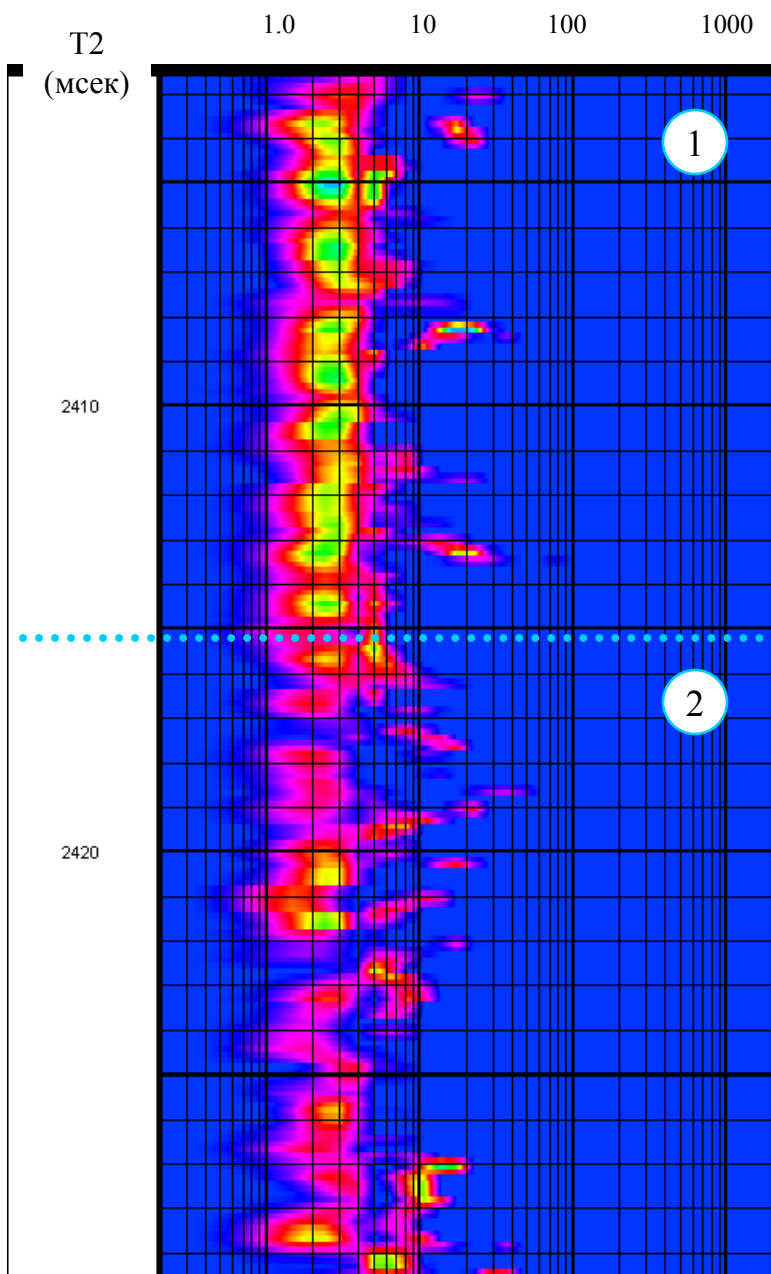


Рис. 7.18

Скважина 103 Усть-Тегусской площади

Анализ структуры порового пространства на диаграмме T2 VDL

1) под-ачимовской глинистой толщи и 2) черных сланце
Баженовской свиты

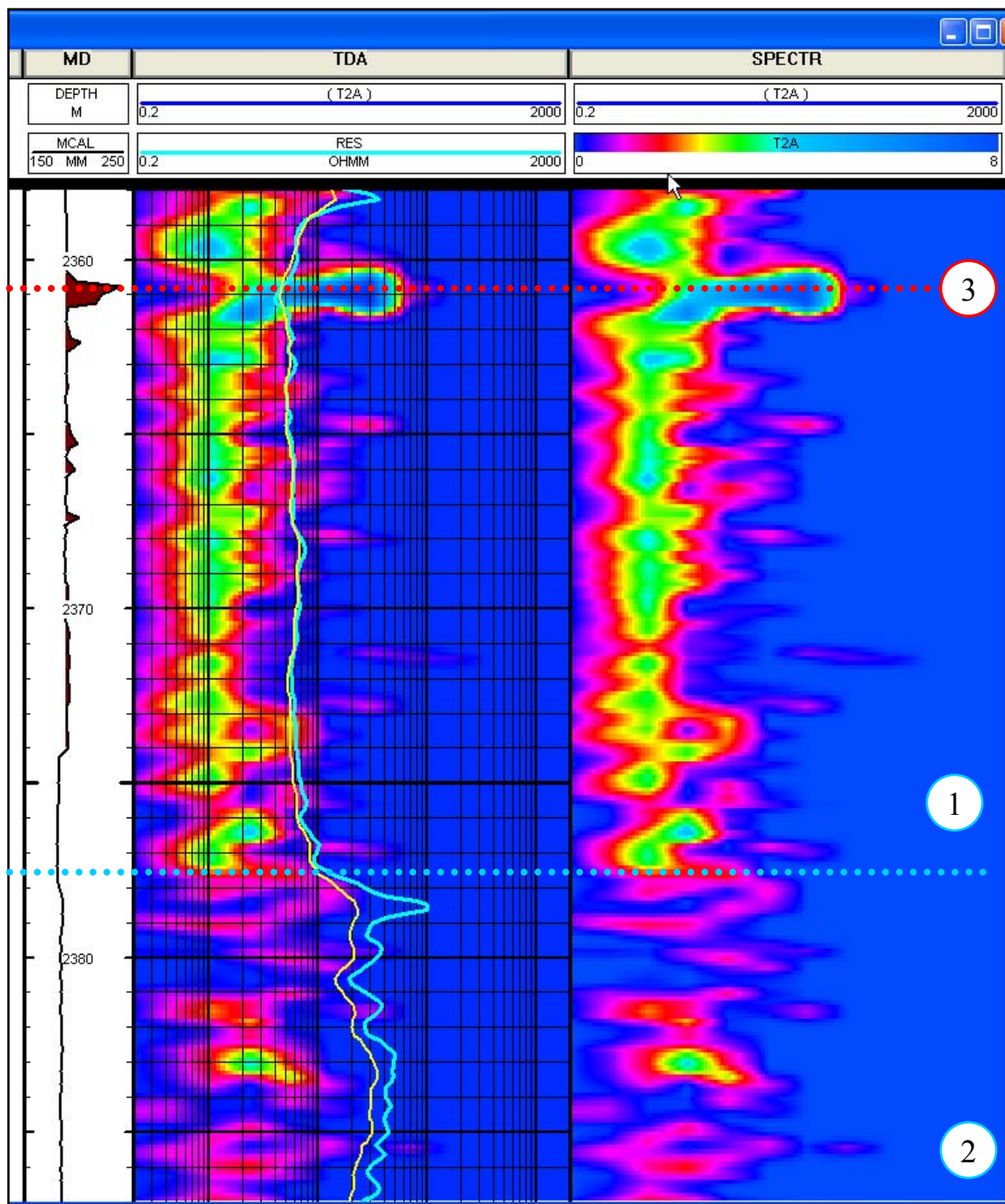


Рис. 7.19

Скважина 16 Урненской площади

Анализ структуры порового пространства на диаграмме T2 VDL 1) под-ачимовской глинистой толщи, 2) черных сланцев Баженовской свиты, и 3) участка размыва

ГЛАВА 7

Некоторые дополнительные примеры

7.2 Формация коры выветривания

Введение

Анализ нетрадиционных или сложнопостроенных коллекторов в Западной Сибири позволяет решить две принципиальные проблемы: нарастить фонд разведанных запасов, и поддержать добычу на уже исследованных/эксплуатируемых участках. Для широтной части ЗСП и Зауральского бассейна к таким объектам следует относить: мелкозернистые песчаные разности Викуловской свиты, характеризующиеся высоким содержанием капиллярно-связанной влаги, неокомские толщи внедрения в черные сланцы Баженовской свиты, кремнистые (биогенные ?) прослои Абалакской свиты и породы формации коры выветривания. В результате бурения в 2000-2003 гг. серии опорных скважин со значительным отбором керна из таких разрезов, впервые появилась возможность обоснования переинтерпретации стандартного комплекса ГИС и разработки ряда практических рекомендаций. В предлагаемом обзоре проводится обобщение полученной информации и описание вероятных литофациальных аналогов этих пород.

В первой части обзора мы рассматриваем ряд вопросов связанных с формированием полного профиля выветривания разнообразных пород доюрского фундамента. Интерес специалистов-нефтяников к этому комплексу весьма непостоянен. Как правило, после очередного открытия он возникает на определенный (1-2 года) период, в течении которого бурится несколько пустых скважин и "объект" оставляют до лучших времен. Современное состояние с запасами, а во многих случаях и с суммарной добычей, заставляет в корне пересмотреть такой подход. Наиболее интересными, с точки зрения профессионала-нефтяника, принято считать те работы, в которых одновременно анализируются изменения минерального состава пород и соответствующие им процессы химического выветривания. В идеальном случае, эти исследования увязаны с интенсивностью корообразования и глубиной профиля выветривания. Многочисленные публикации в той или иной степени отвечают этим требованиям, однако мы выборочно включили в обзор только нескольких работ, в которых рассматриваются обнажения гранитоидов, базальтов, порфиров и нескольких карбонатных примерах (карст и каличе).

Процессами физического и химического разрушения в той или иной степени затронуты породы всех классов доюрского фундамента и выделяемого некоторыми авторами ПСК (1). Распространение формации КВ в пределах ЗСП достаточно сложное. Имевшая практически площадное развитие она была смыта временными потоками со сводовых частей положительных элементов и переотложена в различных локальных депрессиях или просто на склонах. Однако помимо площадной коры, которая преобладала, отмечаются многочисленные примеры развития выветривания по зонам разломов или по тектоническим контактам пород различного состава (например пермо-тирасовых эффузивов и D₂-D₃ известняков). Поверхность доюрского фундамента (и собственно кора) формировались в течении длительного перерыва, когда на обширной территории

существовали континентальные условия. Тектоника играла при этом роль наиболее общего палеогеографического фактора, поскольку созданный рельеф поверхности определял области сохранения и характер развития профиля выветривания.

Свойства формации коры выветривания определяются материнскими породами, однако несмотря на существенные различия в их составе полный профиль КВ на каротажных материалах представлен сходной последовательностью литофаций (4). Уверенно выделяются две части, разделенные поверхностью несогласия. Нижняя (*in situ*) - связанная с химическим разрушением и выносом ряда минералов, для которой характерны постепенные переходы между отдельными прослоями; и верхняя - в которой в разных пропорциях отмечается как химическое, так и физическое выветривание. Формирование второй части завершается характерным участком почвенных и подпочвенных углистых слоев. Для неё типично сложное чередование более выветрелых и относительно свежих разностей, связанное с различными степенями устойчивости и вариациями факторов выветривания. Нижняя часть формировалась в любых условиях, в том числе и при выровненном рельефе, а для образования и сохранения пород верхней части был необходим существенно расчлененный рельеф.

7.2.1 Возможные аналоги: ископаемые и обнажения

ГРАНИТОИДЫ

Детальное описание профиля выветривания гранитоидов приводится в работе Блатта (H.Blatt, 1972), где сравниваются полевые описания и результаты лабораторных анализов гнейсов Мортон (Morton) в Миннесоте и гранодиоритов Миссиссипского возраста, выходящих на поверхность возле города Болдер (Boulder), штат Колорадо. Описанный профиль мощностью около 25 м (80 футов) представлен четырьмя зонами (снизу вверх): 2. слабо измененные граниты и гранодиориты, 3. обесцвеченные рыхлые породы, частично сохранившие первоначальную структуру, 4/5. пятнистые и красноцветные породы, 6. аркозы (см. таблицу 1). В общем случае выделяемые им литофации хорошо коррелируются с предложенными нами ранее для Западной Сибири зонами (4). По мере продвижения к почвенным слоям и собственно аркозам последовательно исчезает ряд минералов: хорнблендит, биотит теряет железо и переходит в вермикулит, в самой верхней части - олигоклаз, а количество микроклина уменьшается на половину. Одновременно с этим в палеопочвах появляются новообразования глинистых минералов, окислов железа и доломит. Автор отмечает, что доломит, вероятно, образовался на стадии раннего диагенеза, т.к. он не встречается в современных почвах и подпочвах сформированных на гранитных породах. В шлифах (2-3 зоны) нет следов аксессуарных минералов: апатита, сфена, магнетита и алланита, вероятно из-за их преобразований. В целом, разрушение зерен начиналось вдоль поверхностей находящихся в контакте с метеорными или почвенными водами палеозоя¹. Наиболее типичными продуктами химического выветривания кварцевых гранитов и гнейсов, являются иллит, смектит, каолинит и иногда, в меньших количествах - гиббсит. При повышении интенсивности выветривания, и особенно - при проявлении активности органических кислот, иллит и смектит разрушаются.

¹ Возраст начала формирования профиля КВ оценивается здесь как палеозойский (Wahlstrom E.E., 1948).

Дикки (P.A., Dickey 1981) указывал в своей монографии (10) на наличие промышленных нефтяных залежей в Оклахоме, связанных с ловушками в осадках деллювиального смыва гранитоидных массивов. Эти продуктивные зоны были выделены местными геологами в отдельные свиты, и получили название "красный смыв" и "гранитный смыв" (*Red Wash & Granite Wash*). Дэвис (B. Davis, 2002) в своей работе (9) приводит пример мощной толщи гранитного деллювия (42 м) вскрытого скважинами на острове Ява (Индонезия). Отметим, что поскольку традиционные методы пористости не давали однозначного ответа на вопрос выделения участков с полезной ёмкостью, в силу сложности с определением исходных параметров матрицы, был применен скважинный метод ЯМР (ядерно-магнитного резонанса) успешно разрешивший эту проблему. Плотность гравийно-песчаной массы по данным гамма-гамма каротажа и керна меняется от 2.6 до 2.85 г/см³. Проницаемость откалиброванная по результатам лабораторных анализов керна и проведенным испытаниям менялась от менее чем 1 мД в нижней приконтактной под-зоне, до 10-60 мД в основной части фаций смыва, а общая пористость оценивается в 6-10 %, и в 14-20 %, соответственно. Промышленные залежи нефти в сходных продуктах разрушения гранитоидов обнаружены на шельфе Вьет-нама - месторождения Белый Тигр и Дракон, которые в настоящий момент активно эксплуатируются СП "ВьетСовПетро".

В этом разделе приводится анализ продуктивного разреза зоны дезинтеграции КВ скважины №10323 Пулыттинской площади, примеры по кважинам 13-Р Урненской, 202 Тямкинской и 12 Ю-Венихяртской рассматривались в главе 4. Дополнительно, результаты обработки скважинного ЯМР по нескольким разрезам выветрелой части девонских карбонатов, приводятся в пятой главе.

ЭФФУЗИВЫ

Эффузивы (преимущественно основные и средние) характеризуются глубокими изменениями и мощным профилем КВ. Согласно данным, представленным в работе А.А. Трофимука (5), по первичным минералам интенсивно развиваются пелитоморфный и кристаллический каолинит, лейкоксен, зернистый и сферолитовый сидерит. Характерной особенностью нижней части этого профиля являются разнообразные светлые тона: розоватые, желтоватые, зеленоватые и др., и повышенная рыхлость.

Профиль выветривания базальтов и андезитов существенно отличается как по составу новообразованных пород, так и по происходящим при этом процессам. Наиболее принципиальным отличием является размер кристаллов (существенно меньший) и присутствие в некоторых количествах вулканического стекла, которое исключительно подвержено процессам разрушения. Наиболее известным местом, для изучения процессов и профиля выветривания базальтов являются Гавайские острова (H.Blatt, 1972). В первую очередь это связано с тем, что во многих случаях хорошо известны даты извержений и их длительность, что позволяет четко определить интенсивность происходящих процессов выветривания. Кроме того, эта островная система дает возможность изучать выветривание на участках с различной топографией - от сильно расчлененных гряд, до выравненных побережий. Другой отличительной особенностью этой территории, является удивительное постоянство состава исходных пород представленных оливиновыми базальтами на 45% состоящими из SiO₂.

Продуктами разрушения базальтов являются глинистые минералы, окислы алюминия и обогащенные титаном окислы железа, которые наиболее распространены при химическом выветривании. Весьма принципиальным, ссылаясь на работы Шермана (Sherma G.D., 1952), авторы считают так-же подвижность кремнезёма. В тропических профилях формации КВ зерна кварца подвергаются значительно более существенному растворению, что, вероятно, приведет к их последующему выпадению из растворов. Всего выделяется до пяти зон: 1. собственно лава и вулканический пепел, подверженные "геологическому" выветриванию (т.е. начальному физическому разрушению); 2. область интенсивного формирования глинистых минералов групп монтмориллонита и каолинита; 3. формирование свободных окислов железа, титана и алюминия; 4. дегидратации и образования латеритов; и 5. последующей дегидратации, эрозии и образования торфов, и "керамических" глин. Основным минералом (зоны 2 и частично 3) является монтмориллонит, частично из-за недостаточного, для формирования иллита, количества калия, и частично из-за относительно высокого содержания в материнской породе Al/Si. В процессе последующего выветривания в почвах и подпочвах (зона 5), монтмориллонит замещается на каолинит и гиббсит. При смене климатических условий могут формироваться весьма устойчивые гидраты окислов железа. На начальной стадии во время влажного сезона, соединения железа вымываются из исходных базальтов, а при последующих сухих периодах переходят в специфичные окислы, которые в дальнейшем сохраняются образуя железистую кирасу. Окончательным продуктом выветривания в тропическом климате с сезонными колебаниями влажности, являются железистые, титано-железистые латеритные горизонты, на Гавайских островах такие коры выветривания содержат до 50-60% Fe_2O_3 и до 15-25% TiO_2 .

В последнее время обозначился принципиальный интерес геологов-нефтяников к контактными зонам вулканических и особенно интрузивных пород. Существенный вклад вносят открытия в таких зонах промышленных скоплений УВ в Китае. Большинство из перечисленных выше процессов выветривания может привести к формированию полостей и, соответственно, потенциальных коллекторов, однако описаний залежей УВ связанных с корами выветривания базальтов сравнительно мало. В работах Джорджжа (George, 1992), Янга (Yang et al, 1997) и Као (Cao et al., 1999) приводятся примеры формирования продуктивных коллекторов в разрушенных зонах пород диабазового состава. Одна из последних работ Лианхинга (17) посвящена детальному описанию нефтяной залежи в трахит-порфировой интрузии на северо-востоке Китая. Это уникальное месторождение получило название Оюлитуози (*Oulituozi*), расположено в бассейне Лиаохе (*Liaohhe*) и содержит ряд залежей сформировавшихся в коллекторах представленных прикровельной частью интрузии². Доминирующая пористость связана с брекчиями взрыва (*explosive breccia*), сетью разнонаправленных трещин, субвертикальных разломов и диагонально ориентированной микротрещинноватости, отмеченной в основном в вершинной части тела. Незначительное количество нефти и газа было так-же обнаружено в вышележащих трещинноватых аргиллитах. Массивные нижние части порфирового тела играют роль крыши, изолируя УВ залежь от прилегающих по латерали обломочных коллекторов.

² В указанной работе отмечается, что существует и другая точка зрения о эффузивной природе исходных вулканических пород.

Месторождение Оюлитуози было открыто в 1997 г., и в настоящее время дает более 200 тонн нефти в день и существенное количество попутного газа и конденсата (17). Более 90% добычи идёт из частично разрушенной и измененной части порфира, что на ранних этапах изучения послужило причиной интерпретации вулканической массы как эффузивного комплекса с классической корой выветривания. Петрографически породы представлены массивными трахитовыми порфирами с незначительным количеством трещин, распространившимися на площади около 10 км². Количество фенокристаллов невелико от 10 до 20%, и представлено в основном сандином, анортотоклазом и плагиоклазами, с резко подчиненным количеством биотита и клинопироксена. Матрица породы сложена флюидизированной массой микрокристаллов щелочных ПШ. Химически порфиры состоят на 60% из SiO₂, и на 10-12 % из K₂O+Na₂O.

Сочетание сравнительно высокого, по сравнению с базальтами, содержания паров воды, и существенно более низкого давления вышележащих пород, создает условия благоприятные для подземного взрыва. Основная масса коллекторов была сформирована во время "криповзрыва", а затем дополнена ёмкостью в результате остывания и сжатия вулканической массы. Частично образовавшаяся пористость была заполнена кальцитом отложенном в результате циркуляции подземных вод; однако это весьма непрочный минерал, склонный к растрескиванию и легко трескающийся, поэтому первоначальная проницаемость была практически сразу восстановлена. Поступление УВ могло происходить по многочисленным системам глубоких разломов. Формирование ловушки завершено мощными аргиллитовыми толщами свиты Шашиджей (*Shahejie*) перекрывающей весь интрузивный массив. Наиболее вероятным возрастом интрузии автры считают 33.1 млн.лет, (палеоген) при исходной глубине около километра, а генерации и миграции УВ - 27.4 млн.лет.

В западной Сибири из разрушенных частей эффузивов получены промышленные притоки газа (Карабашская пл.), нефти и конденсата (Сев.-Варьеганская пл.). Выделения коллекторов в кровельной части выветрелых базальтов Центрально-Алымской площади, приводится в примере 2.

КАРБОНАТЫ

Выветривание карбонатных толщ является, вероятно, наиболее интересным, с точки зрения нефтяной геологии, объектом, в котором различные породы подвергались растворению и выщелачиванию. При достижении (или сохранении) конечной фазы выветривания, продукты глубокого преобразования доходят до рыхлой глинистой массы (3). На многочисленных площадях юга ЗСП различные известняки переработаны в однородную беловато-бурую массу кремнисто-глинистого состава. Глинистая компонента представлена каолининовым, каолинит-гидрослюдистым, реже монтмориллонитовым составом; отмечены высыпки пирита и сферолиты сидерита. В случае если выветривание происходило глубоко под кровлей пород фундамента то формировались кавернозные участки.

Выщелачивание известняков отмеченное на Останинской, Верх-Тарской, Варьеганской, Ван-Еганской и др. площадях, происходило в условиях постоянного привноса кислот (углекислоты), содержащихся в поверхностных и подземных водах за счет разложившегося ОВ. По мере растворения кальцита происходит накопление нерастворимого глинистого

остатка который вначале локализуется в пустотном пространстве, а затем выполняет всю новообразованную породу. На основании материалов по Мыльджинской и западно-Останинской площадям, А.А. Трофимук (5) предполагает, что когда не было условий для постоянного выноса продуктов выщелачивания, может происходить смена кислой среды на щелочную. При этом каолинит переходит в минералы группы кремнезема (гиббсит, бёмит, диаспор), а высвобождающийся кремнезём подвергает известняки окремнению (см. таблицу 3).

Детальное изучение влияния интенсивности процессов выветривания на состав и распределение минералов в карбонатных корах приводится в монографии Блатта (H.Blatt, 1972). На примере обнажений свиты Челтенхам (*Cheltenham*) в штате Миссури прослеживается распределение глинистых минералов в профилях выветривания кремнистых известняков верхне Ордовикского и Миссиссипского³ возраста. Согласно этим работам, измеренная мощность собственно коры выветривания доходит до 20 м. (65 футов) однако кровля отложений эродирована, так что истинная мощность профиля осталась неизвестной. Состав преимущественно глинистых компонент постепенно меняется от диаспоровых (*diaspore*) глин с высоким содержанием алюминия на юге, к каолинистым глинам и более плотным аргиллитам, и наконец, к преимущественно иллитовым аргиллитам (на северо-западе).

Дополнительные сведения о процессах выветривания карбонатных образований содержатся в работах Видетича (Videtich, P.E, 1980), Джукукса (Jukucs L., 1977) и Харрисона (Harrison R.S., 1977), а многочисленные примеры обнаружения в них промышленных скоплений УВ - в обзоре вышедшем в AAPG под редакцией Ченовеса (Chenoweth, P.A, 1972). Матео и Клаппа (Mateu Esteban, and Klappa Colin, F., 1983, "Subaerial Exposure Environment") в фундаментальном труде AAPG (18), обобщив материалы по более чем 20 детально задокументированным обнажениям выделили две наиболее принципиальные "крайности" в спектре различных литофаций выветривания карбонатных пород: карст и почвенные фации (каliche).

Понятие "*карст*" изначально использовался для обозначения особых форм рельефа, в том числе подземных, и географических районов, где эти формы хорошо развиты (19). Различные авторы (Thraillkill, J.V., 1968; Back, W., 1997; Folk, R.L., 1975) обращали особое внимание на тот факт, что карст формируется в результате сложного сочетания условий (тектонических, климатических, гидрогеологических и петрографических). Это послужило основанием для определения карста как "набора диагенетических фаций сформированных в вышедших на поверхность карбонатных телах, в результате растворения и выноса метеорными водами кальцитного материала." Более ранние версии (словарь AAPG) предлагали толкование карста как "типа рельефа" возникшего в результате выщелачивания и растворения, и характеризующегося замкнутыми депрессиями, воронками, пещерами и подземными водотоками.

В обоих случаях карст или карстовые фации связаны с растворением и выносом кальцита, однако на некоторых этапах своего развития возможно приостановление этого процесса или даже обратное явление- накопление осадков в результате переотложения. Литологически породы представлены преимущественно низко-магнезиальным кальцитом, а выполнение пор и полостей выщелачивания может быть весьма пестрым: чаще других

³ Нижний силур

встречаются: арагонит, гидромагнезит и доломит. Идеальный профиль карста состоит из двух частей- верхней вадозной, в её состав входят под-зоны инфильтрации, просачивания и капиллярного подъема влаги; и нижней - насыщения, в которой выделяются линзовидная зона и зона с возрастанием гидростатического давления (см. таблицу 2). Такой профиль формируется на зрелой стадии развития карста, к сожалению, в результате участия большого числа факторов, влияющих на его формирование, отдельные части этого профиля, в реальном разрезе, могут многократно повторяться. Поэтому детальный циклостратиграфический анализ и геологическая корреляция литофаций карстовых кор выветривания не всегда возможны.

Зона инфильтрации (или верхняя вадозная под-зона) характеризуется активным формированием субвертикальных каверн и пещер. В ней могут присутствовать почвенные слои, лишайниковые или водорослевые корки и "протопочвы". Большая часть "спелеотем" формируются в результате коррозии и частичной деградации матринского субстрата. Основная масса осадка представлена тонкозернистой массой состоящей из игольчатых агрегатов низко-магнезиального кальцита и глобулей сантиметрового размера нарастающих на разрушенной материнской породе. Эта смесь, получившая название "лунное молоко" (*moon-milk*) скапливается на стенках и дне каверн. Она окрашена в белесоватые тона, напоминает мел, хрупкая и обогащена колониями грибов и бактерий. Преобладающие здесь процессы - физико-химическое растворение, био-коррозия связанная с исключительной активностью органики; нередко здесь отмечаются участки с брекчией провалов (*collapse breccia*).

Зона фильтрации (или нижняя вадозная под-зона) характеризуется субвертикальным движением вод по существующим каналам. На участках, где вадозные воды являются преобладающими, растворение замедлено или его вообще не происходит. Выделение отдельных литофаций весьма затруднительно, в нижней части отмечаются "спелеотемы"⁴; наличие участков с капиллярной влагой поднимающейся на высоту до 2 м., над зеркалом свободной воды связано, вероятно, с интенсивным выпадением карбонатов.

Линзовидная зона (или верхняя под-зона насыщения) характеризуется интенсивным развитием субгоризонтальных систем пещер в результате водяной эрозии и растворения при повышении гидростатического давления. Здесь формируется большая часть пористости карстовых областей, особенно это характерно для участков ниже зеркала воды. В поздней стадии развития карста, начиная с глубины в несколько см. здесь так-же начинается формирование карбонатных хлопьев и покровов (корок). Поверхности свободной воды могут располагаться на разных уровнях (James, B., 1972), что добавляет сложности при интерпретации границ профиля. На отдельных участках может отмечаться накопление осадков обвалов и брекчий проседания. Такие зоны часто распространяются на глубину до 100 м. и более, очевидно, что нижний их предел определить достаточно трудно. Примерами таких "провалов" связанных с тектоническими брекчиями в западной Сибири могут быть разрезы скважин №104 Няртольской (Бахиловской) пл., и №7 Северо-Хохряковской.

Возрастание гидростатического давления (нижняя под-зона насыщения) может усиливать некоторые процессы растворения, но по мере возрастания глубины, воды становятся застойными и все диагенетические процессы характерные для поверхностных условий

⁴ те. Формирования натечных структур типа сталактит-сталагмит.

приостанавливаются. Почвенные и подпочвенные образования редко сохраняются в ископаемом виде, во-первых из-за их незначительной мощности (30-40 см max), во-вторых из-за эрозии. Важным исключением являются фации каличе или калькриты (калькарениды), в которых, до последующего осадконакопления или выветривания, происходит литификация продуктов почвообразования.

Современный карст достаточно широко распространен как на земной поверхности, так и на дне моря (Наливкин); и получил свое название по области в Восточных Альпах. Наиболее часто карст развит в областях сложенных известняками, выходящими на поверхность или расположенными на глубине проникновения поверхностных вод. В разные годы отечественные ученые описывали такие явления в карбонатных породах юрского и нижнемелового возраста в Крыму, Северном Кавказе, Копет-Даге и Южном Таджикистане (А.А. Крубера, 1900). На Русской платформе отмечены многочисленные воронки и впадины, нередко заполненные озерами и болотами и приуроченные к полосе развития ордовикских, девонских, каменноугольных и пермских известняков (А.Ф. Якушева, 1949, Л.В. Пустовалов, 1930). Весьма интересный пример приводится в работах А.Ф. Якушевой (1949), где описаны результаты бурения в нижнем течении р. Камы. Согласно этим данным поверхность нижеартинских известняков сильно разрушена эрозией, а все углубления заполнены брекчиевидной породой, часто внедряющейся в толщу материнских пород по трещинам и пустотам. Брекчии состоят преимущественно из обломков известняка сцементированного красноцветной песчано-глинистой массой расположенной выше уфимской толщи.

Каличе (*caliche*) впервые выделены в Аризоне, для обозначения красновато-бурых до желтовато-коричневого материала вторичной аккумуляции, приуроченного к поверхности каменистых почв, развитых в засушливых и полусухих районах. Согласно словарю AAPG (1977), состоит преимущественно из корок или последовательностей корок растворимых солей кальция в гравии, песке и глине. Цементирующим материалом служит главным образом карбонаты кальция и магния, а так-же кремнезем и гипс. Каличе формируются в результате капиллярной активности почвенных растворов откладывающих эти соли на поверхности. В детальных исследованиях Джейнса (1997), выполненных на плато Эдвардс (*Edwards Plateau*) в центральной части Техаса, приводятся материалы литолого-петрографического анализа каличе в отложениях докембрийского, палеозойского, мелового и четвертичного возраста. Обобщив материалы предыдущих исследователей Рассел расширил область использования этого термина, относя сюда до семи разнообразных литофаций: гравелиты и гравийные пески, известковые аргиллиты и мергели, кремнистые аргиллиты (силициты), уплотненные трещиноватые известняки и брекчии, кремниевые песчаники, Терра Росса⁵ и кремнистые сланцы. Эстебан (18), дал описательное определение, которое нашло достаточно широкое применение у геологов, связанных с AAPG: "каличе - это вертикально разделенные, субгоризонтальные отложения карбонатного состава, сложенные, в основном, четырьмя литологическими разностями: массивно-меловыми, блочно-раскрошенными, плиточными или покровными и уплотненными корами или хардпанами (*hardpan*). Единственно более-менее определенной закономерностью является плавный переход массивных разностей в материнскую породу, иногда через промежуточную зону с отчетливыми чертами местных диагенетических

⁵ Терра Росса - "лунная поверхность/ландшафт". Джейнс использует этот термин при описании пород, сложенных известковыми желваками, красноцветными натёками вытянутой формы и залегающих на брекчированных глинистых известняках.

изменений и замещений. Основная структура кальцита - коагуляционно-сгустковая, пелоидальная, микритовая с канальцами и трещинками выполненными микрошпатом.

Вероятно, понятие *каliche* является сегодня, термином свободного пользования и может употребляться применительно к любой современной или ископаемой почве существенно обогащенной карбонатным материалом, при условии, что CaCO_3 будет концентрироваться в форме глобулей. *Профиль каличе* обозначает полную последовательность различных слоев и горизонтов. В различных профилях коры типа "каliche", практически всеми авторами (2,12,13) отмечаются различия, связанные в первую очередь с длительностью поверхностного выветривания, составом новообразованных глинистых минералов и трещиноватостью. При этом большинство границ между литологическими разностями характеризуются плавными переходами.

Для обозначения аналогичных образований, Наливкин (1956) использует понятие "кальцитовая кора" и, ссылаясь на ранние работы Э.Н. Благовещенского (1949), приводит случаи широкого почти регионального распространения пластов с известковыми конкрециями. Такие горизонты в Туркменистане и Узбекистане называется "шоx", а в Казахстане "сок". Они так-же широко распространены в Алжире, где носят название "*tafzah, nahri*" и Индостане, где называются: "*kankar*"; во всех случаях их формирование связано с тропическими полупустынями. В шурфах и разведочных канавах отмечалась тесная связь красноцветных продуктов выветривания с кальцитовыми стяжениями. Обычно непосредственно над скоплениями конкреций наблюдается крупный красный песок, представляющий горизонт из которого, в период формирования псевдо-конгломерата происходил вынос кальцитового материала. Красная окраска обусловлена наличием тончайших корочек и покровов окислов железа, облекающих все песчаные и гравийные зерна, и примесью этих окислов к глинисто-известковой массе цемента. Кальцитовые конгломераты залегают не на поверхности почвы, а на глубине 100-250 см, причем рельеф поверхности кальцитового горизонта повторяет грядовой рельеф поверхности почвы. Формирование кальцитовых почвенных и подпочвенных кор представляет собой характерный продукт химических процессов пустыни и происходит в настоящее время.

Конкреционное строение иногда незаметно, и тогда кора представляет собой известняковый пласт однородного строения с неровными поверхностями. Такие образования хорошо сохраняются в ископаемом виде, где они представлены тонкими прослоями неслоистых известняков замещенных по простирацию на мягкую и рыхлую мергелистую массу, нередко с неясно выраженной конкреционной текстурой. Их образование объясняют движением поверхностных вод выщелачивающих CaCO_3 из почв и подпочв и отлагающих его на уровне зеркала. Мощность таких ископаемых прослоев в долине Зеравшана составляет 0.5-1 м. В ряде зарубежных работ (12,19) этим-же механизмом объясняют и вторичное перераспределение кремнезема в каличе. Местами каличе представляет собой плотную неслоистую породу, мощностью до 12 м, в отдельных слоях которой развиты волноприбойные знаки. Иногда они практически полностью представлены вулканическим пеплом, конкрециями и линзами кремня, зернами вулканического стекла и глинистых минералов - каолинита и монтмориллонита и не содержат карбонатов. Принципиальным моментом является образование таких пород без участия постоянного водного бассейна.

Наиболее активная в химическом плане ситуация складывалась при контакте известняков с эффузивами триасового возраста. В этом случае создаются наилучшие условия для образования потенциальных коллекторов, а возможное формирование ловушки пластовых флюидов определялось скоростью погружения (сохранением) и покрытия глинистыми отложениями юры. Таким образом можно наметить критерии выделения перспективных участков: это зоны контакта карбонатных и эффузивных комплексов, перекрытые нижнеюрскими осадками (тогурская и радомская пачки).

ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ

Кремнистые и кремнисто-глинистые породы, встречающиеся в КВ западной Сибири, характеризуются белесой окраской, и брекчвидной текстурой. Органогенно-кремнистые и глинисто-кремнистые неокатанные обломки сцементированы гидрослюдисто- и кремнисто- каолининовым материалом. Иногда встречаются крупные зерна и сферолиты сидерита радиально-лучистого строения. Терригенные породы (преимущественно триасового возраста) подвержены существенному разрыхлению, частичному отбеливанию, каолинизации и сидеритизации, которые могут приводить к формированию коллекторов (Озерная, Тымская и Агатская площади). Эти образования встречаются относительно редко, и их не следует путать с конгломератами и песчаниками верхней части КВ.

Разнообразные отложения временных потоков, в том числе предгорные конуса выноса (сухие дельты по определению А. Вебера) так-же на наш взгляд стоит относить в формацию КВ. Во-первых они генетически связаны с нижней т.е химической частью, а во-вторых время их формирования (точнее завершения формирования) так-же совпадает с окончанием разрушения и началом захоронения нижнеюрского рельефа. Своеобразной формой выветривания и быстрого переотложения различных пород служит наземный конус выноса. Такое название было предложено Наливкиным для обозначения огромных скоплений песка, имеющих вид пологих конусов шириной и длиной в десятки километров, и мощностью доходящей до первых сотен метров. Ископаемым примером таких образований, изученных в обнажениях является красноярская свита Кузнецкого бассейна, описанная в 1948 г. В.И. Яворским и П.Ф. Ли. Отличительной чертой описанных обнажений являлось исключительно высокое содержание песчаной фракции - до 93%. Свита подстилается, перекрывается и замещается по простирацию на типично континентальные отложения. Преобладающими текстурами является косая слоистость, названная исследователями типом "периодических потоков" и многочисленные внутриформационные размывы - до первых десятков метров. Поверхности размывов подчеркиваются прослоями гальки и её скоплениями. Наряду с косой слоистостью выделяются участки горизонтальной слоистости неясного происхождения, возможно свидетельствующие о частичном накоплении в изолированном озере.

По мнению Наливкина, процессы выветривания и переотложения рыхлых песчаников балахонской свиты и девонских эффузивов были весьма интенсивны. Продукты разрушения сортировались, в том числе ветром, при этом глинистые частицы уносились, а песчано-гравийные покрывали нижние части склонов и заполняли сухие долины. Бурные ливни выносили к подножию возвышенностей громадные массы песчаного материала, где

он снова перерабатывался и переотлагался распределяясь на значительной площади. Быстрое опускание всей территории, сопровождавшееся быстрым поднятием (или замедлением) отдельных участков являются наиболее вероятной причиной существенных мощностей отложившихся песчаников. В целом осадочное тело имело вид пологого большого конуса выноса - "песчаного конуса", поверхность которого была покрыта многочисленными дюнами, разделенными плоскими долинами временных потоков.

Кепроки (cap-rocks) и разрушенная часть соляных диапиров

Кепроками называют верхнюю, сильно измененную часть соляного купола, сложенную в основном непроницаемыми ангидритами и гисом, с небольшим количеством новообразований кальцита и серы. Согласно работам Алсопа (Alsop, 1995) кепроки формируются в результате вторичной аккумуляции менее растворимых минералов соляного тела в процессе выщелачивания его кровли, и последующего гравитационного уплотнения. В ряде месторождений эти зоны оказываются пропитаны нефтью и могут содержать промышленные запасы УВ (6,8). Эти образования с некоторой долей условности так-же могут быть отнесены к формации коры выветривания.

7.2.2. Пулытгинская площадь, скважина № 10323 и Южно-Иусская площадь, скважина № 8007

В скважине 10323 вертикальный открытый ствол номинальным диаметром 190.3 мм, и пресный глинистый буровой раствор удовлетворяли требованиям проведения ЯМТК. Проходка скважины осуществлялась роторным способом; при этом происходила частичная абразия колонны труб и в буровом растворе содержатся микрочастицы железа, которые налипают на скважинный прибор ЯМР в области постоянного магнита. По материалам предварительной обработки этот эффект наблюдался на скважине №10323, но не сказался на результатах измерений.

Регистрация была выполнена в январе 2002 г., и явилась одним из первых примеров успешного использования метода ЯМР для характеристики собственно КВ и связанных с ней терригенных образований. Возможность количественной петрофизической характеристики различных пород доюрского фундамента относится к пока невыясненным но весьма перспективным направлениям. Вероятно, наиболее оптимальным будет являться комплексирование ЯМР с широкополостной акустикой и спектральным ГК. Такое сочетание позволило уверенно выделять участки требующие применения гидроразрыва в карбонатных отложениях Венесуэлы и вулканокластических комплексах Аргентины. Следует помнить, что ЯМР является методом «спектральной пористости» т.е. даёт информацию о распределении пор по размерам, но не говорит об наличии соединяющих их каналов. Присутствие объема заполненного потенциально подвижными флюидами в выветрелых породах ещё не говорит об обязательном наличии коллектора (см. пример МОНО-1).

Согласно приложенному описанию, здесь было отобрано значительное количество керна, в том числе и из продуктивной части юрских отложений (?) и измененной части доюрского основания. (см. колонку «HOLE», рис. 7.20). По аналогии с изученными ранее разрезами

широтного приобья весь интервал 1372–90.6 м. относится нами к коре выветривания. Это покровное терригенное перекрытие палеозойского фундамента, накапливавшееся в нижнеюрско-верхнетриасовое время (4), а такие образования продуктивны на Северо-Варьеганской и Ван-Еганской площадях. В интервале перфорации предполагается наличие смешанного порово-трещинного коллектора, связанного с зоной дезинтеграции фундамента. При этом попавший в трещины буровой раствор даст увеличение капиллярной влаги (BVI), а ИСФ (FFI) будет сильно занижен, что наблюдается в данном случае. Ниже отметки х410 м. все участки фундамента, выделяемые как потенциальные коллектора, совпали с кавернами (х445.6, х463.3, х474–81.4 м.), в этом случае материалы были ЯМР неинформативны. Максимальную отдачу от выполненных специальных исследований ГИС, можно было получить при регистрации газового каротажа и отбора/оперативного изучения образцов шламма непосредственно во время бурения.

Оперативная интерпретация была выполнена по стандартному для терригенного разреза подходу – т.е. с граничным значением в 33.0 мсек. (см. колонку «Т2»), а проницаемость рассчитана компанией Computalog (в колонке PERM). При таком подходе вся ЯМР пористость ниже отметки 1392 м. представлена в колонке NMTL капиллярной водой (MBVI). Привлечение анализов керна из гравийной части КВ, в том числе и из скважины Центрально-Алымской №1, показало, что из-за особенности поверхностной релаксивности в грубозернистых породах более корректным является использование спектрального распределения суммарной связанной воды (SBVI). В колонке «MIRIAN» представлены результаты этой обработки, совместно с суммарной нефтенасыщенностью, определенной методикой двойной воды. Соответственно объемы нефти показаны черным, подвижной воды – синим, и связанной воды – серым тонированием. Проницаемость (показана синим цветом с розовым тонированием) была рассчитана по формуле Коатеса, и на ней уверенно выделяется участок из которого и был получен фонтанный приток УВ.

Скважина №8007 (Южно-Иусская) была пробурена в марте 1998 г., диаметром 190.3 мм., в ней был выполнен только стандартный комплекс ГИС, включавший ПС, ГК, нейтронный каротаж (2 зонда), акустику, БК МБК и замеры кажущегося сопротивления пятью градиент-зондами разной глубинности. Во время записи каротажа, ствол был заполнен РВО плотностью 1.2 гсм³ и вязкостью 30 сек. Результаты испытаний континентальных отложений средней/верхней(?) юры, коры выветривания и пород фундамента приведены в таблице (таб. 7.10).

Таблица 7.10 Результаты испытаний скважины №8007 Южно-Иусской площади

Пласт	Интервал	Испытания	НКТ	СДУ	Приток	Тпл	Кпрдк**
	м	ПКС-80	Глубина	(м)	м3/сут	°С	м3/сут атм
Ю + КВ	1338-1374	ИПТ	9.3 Мпа		Q _{в+н+г} =58.15 нефть-30%		
PZ (?)	1406-1412	20	73 1400	934	«СУХО»		
Ю ?	1347-1358	20*	73 1320	1023	Q _в =2.6	50	0.25
Ю 3-4	1337-1344	20	73 1320	467.5 972.5 807	Q _в =11.1 Q _в =19.3 Q _в =8.2		0.02
			73				

КВ	1361-1364	20	1300	837	$Q_B=1.4$	50	0.15
* - ПК=105; ** - коэффициент продуктивности							

Основываясь на материалах исследований выполненных в скважине 10323 Пултытинской площади, было выполнено моделирование эффективной (MSIG) составляющей ЯМР-пористости, выделены возможные участки нефтеносности и рассчитана абсолютная проницаемость потенциальных коллекторов (рис. 7.21). По данным четырехрычажковой кавернометрии (PM1 и PM2), в стволе присутствовало большое количество размывов, (при диаметре выше 220 мм.) показанных темно-коричневым тоном в колонке «MD». Результаты моделирования ЯМР-сигнала показаны в колонке «VDL», граничные значения в 4.2 и 33.0 мсек. приняты по аналогии со скважиной 10323. Нейтронная (NPHI) и акустическая (SPHI) пористости помещены в колонке «POR», однако изменения в свойствах матрицы (кварц-известняк-метаморфизованная п.) не позволяют использовать для определения объемов ИСФ. По данным моделирования (применялся алгоритм программы NMR Advisor, компании Шлюмберже, 1999 г.), выделено два участка – верхний перспективный и нижний вероятно слишком плотный, с незначительными объемами ИСФ. Согласно приведенным в таблице (таб 4.***) испытаниям, при перфорации нижней зоны (собственно палеозоя) притока не было получено. Газированная смесь пластовой воды и нефти (до 30%) была получена из кровельной (переходной) зоны коры выветривания, где отмечается яркая аномалия. Измерения давлений и притоков не позволяют рассчитать суммарную проницаемость собственно коры выветривания, поэтому расчетная проницаемость «CMODEL» носит оценочный/качественный характер.

7.2.3. Площадь Урненская, разведочные скважины №13 и 16: пласты верхней/средней юры «Ю» и коры выветривания.

В скважине № 16 в стволе диаметром 189 мм., заполненным глинистым раствором плотностью 1.14 г/см³, вязкостью 25 сек., и сопротивлением 1.48 Ом (27°C) каротаж ЯМР был записан в интервале 2336-2466 м. Значительных размывов или других нарушений ствола не наблюдалось, и условия для качественных измерений были вполне благоприятными. Запись выполнялась двойной активацией для обратотки TDA с временами поляризации $T_w=2000$ мсек. и 750 мсек. Перспективные интервалы части верхней юры, Тюменской свиты и формации коры выветривания проходились практически со сплошным отбором керна (2405-2462, на рисунке 7.22). Согласно полевому описанию, песчаный пласт Ю₂ (2418-2424 м.) представлен чередованием карбонатных и темно-серых глинистых песчаников с запахом УВ на свежем сколе и частичным нефтенасыщением.

Обработка методом TDA не выявила признаков легких УВ, однако на диаграмме VDL (T_2 активации «А») в пласте индексируемом как Ю₂ была выявлена отчетливая аномалия релаксации связанная с диффузией (см рис. 7.22). Время диффузии свободной воды (в MFFI) можно определить по вышележащим пластам ачимовского комплекса и верхней юры (линия T2DW); время диффузии УВ фазы в пласте показано линией T2OIL. Оба участка характеризуются наличием проницаемых прослоев по данным микрозондирования (колонка «MKZ»), однако верхний пласт (Ю1) характеризуется тонкослоистым строением. Кажущееся сопротивление градиент-зонда (LL3): 18.0 Ом для водоносного и 28-32.0 Ом для продуктивного участка; а кажущееся сопротивление индукционного зонда (LL2 в

колонке «RES») – 8.0 Омм и 22.0 Омм, соответственно.

Результаты распределения спектральной пористости ЯМР: глинисто-связанной воды (MCBW), свободных флюидов (MFFI) и капиллярно-связанной влаги (MBVI) хорошо согласуются с общей пористостью по ГГК-п (DPHI) и по акустике (SPHI) в песчано-алевролитовых породах и карбонатных прослоях. В глинистых разностях, аргиллитах, углях и черных сланцах суммарная пористость ЯМР (MSIG) оказывается существенно ниже. Расчет проницаемости по модели Коатеса показал, что потенциальными коллекторами являются только верхние два прослоя, что подтверждается результатами опробований представленных в таблице (таб 7. 11). Нижний участок, с незначительной составляющей сигнала ИСФ 2438 м. был испытан по аналогии с соседней скважиной (№ 13), где были встречены нефтеносные грубозернистые песчаники, принадлежащие коре выветривания, однако притока не получено. Результаты опробования нескольких объектов скважин №№ 13 и 16 подтвердили правильность оценки ФЕС и типа пластового флюида по данным скважинного ЯМР. Окончательная интерпретация насыщения ИСФ показана в последней колонке – «NMR»: свободная вода – голубым, подвижная нефть – красным и остаточная нефть выделенная моделированием ЯМР сигнала – зелёным тоном.

Таблица. 7.11. Результаты опробования объектов Уренской площади (разведочные скважины 13 и 16).

Пласт	Интервал	Перфорация	Депрессия	Приток	Рпл	Тпл	ИСФ	Кпр
	М	отв/м	Атм	м3/сут	МПа	°С	%	мД
Скважина 16 (90.5м)								
Ю ₂	2417-2424	18	10.4	20.64	24.3	86.5	8.57	5.1
Ю ₃	2438-2441	18	11.7	нет			0.15	0.1
Скважина 13 (103.3м)								
Ю ₁ (?)	2364-2383	14	10	46.6	22.8	87		
КВ	2392-2406	21	9.9	нет*	23.9	88		
* - поднят нефтенасыщенный керн								

Зависимости абсолютной проницаемости от общей пористости для глинистых, грубозернистых песчаников, гравелитов и собственно коры выветривания продуктивных участков верхней/средней юры показаны на рисунке (рис. 7.23). Дополнительной задачей исследований стояло обоснование возможности использования данных ЯМР при прогнозе свойств сложнопостроенных коллекторов коры выветривания и пород доюрского фундамента. В разрезе скважины № 13 акустические свойства различных литотипов: средние и крупно-зернистых песчаников Ю-1 и Ю 3-4, грубо-зернистых обломочных пород, туфов и гравелитов коры выветривания, и частично разрушенных гранодиоритов оказались достаточно схожими (см. рис. 7.24). Типичный пример гранулярного коллектора юрских отложений показан на рисунке (рис. 7.25), где представлена фотография сканирующей электронной микроскопии. Тонкопластинчатый каолинит обладает двумя особенностями: 1) он может мигрировать во время эксплуатации объекта и блокировать каналы, снижая проницаемость, и 2) вносит минимальный вклад в показания естественной радиоактивности.

Выполненные измерения позволили провести моделирование распределения диффузии и экстраполировать результаты скважинного ЯМР на другие скважины месторождения. На рисунке (рис. 7.26) показаны результаты моделирования диффузионной составляющей ЯМР-сигнала, и расчет проницаемости с использованием синтетических данных; МРНІ и SBVI, в скважине 25 Урненского месторождения. Помимо ГК и ПС использовались кривые БК, МБК, пять градиент-зондов различной глубинности, нейтронная пористость (2 зонда) и акустика (SPHI). Данные микрозондирования (колонка «МКZ») использовались только для выделения потенциально проницаемых участков. Граничные значения воды (T2DW) и нефти (T2OIL) были взяты по аналогии со скважинами 12 и 13. Сопоставление с пористостью измеренной на керне показано в колонке «POR», акустика (Wyllie) дала наилучшее совпадение, а нейтронная пористость была стабильно выше на 2-4 е.п. Эффективная пористость рассчитанная по результатам моделирования ЯМР совпадает с акустической пористостью (разница на рисунке связана с VCL) в водоносном интервале ниже отметки 2395 м., и в продуктивном – нефтеносном 2374-2382 м., В зоне тонкого переслаивания и присутствия значительного количества карбонатного материала (в виде цемента и обломков) – 2383-2393 м. моделирование показывает на незначительные объемы ИСФ, и соответственно падение проницаемости, что частично подтверждается измерениями проницаемости на керне (колонка «MODEL»). В кровельной части пласта 2369-2375 м. моделируемый сигнал практически отсутствует, а ЯМР-пористость оказывается существенно ниже пористости по акустике и керну (разница 8-12 е.п.), что может быть связано с эффектом газа, т.к. УВ с низким НІ не дадут вклада в диффузионную составляющую. Для потенциально газоносного участка суммарная (общая) пористость рассчитывалась по нейтрон-акустическому кросс-плоту, и результаты проницаемости достаточно хорошо совпали с керновыми данными (колонка «MODEL»). При испытании интервала, показанного в колонке «MD» был получен фонтанный приток нефти с газом в 254 м³/сут. Присутствие карбонатизированных прослоев и обломков известняков существенно сказывается на проницаемости (см. рис. 7.27а), не выделяясь, однако, из общей зависимости. Крупнозернистые осадки стабильно характеризуются повышенными ФЕС – в частности проницаемостью выше 50 мД и образуют наиболее оптимистичный тренд в верхней части кросс-плота. Примечательным является тот факт, что несмотря на различную слоистость отмеченную как при макроописании керна, так и в шлифах параллельная и перпендикулярная проницаемости формируют практически линейный тренд, очень близкий к 1:1; на рисунке (рис. 7.27в) приводятся данные по скважинам 29 и 25 с двумя граничными линиями (1:1 и 1:0.65).

Маловероятно, что моделирование диффузии сможет заменить скважинные измерения ЯМР, однако такой подход расширит применение этого метода и позволит более обоснованно экстраполировать некоторые его результаты, например – проницаемость и остаточную УВ-насыщенность. Более перспективным мы считаем разработки моделей ИСФ и объемов капиллярно-связанной воды. В таблице (таблица 7.12) приводятся некоторые параметры акустических и ЯМР-свойств различных зон коры выветривания скважин Уватского района.

ССЫЛКИ

1. Журавлев Е.Г., Лапинская Т.А., Файн Ю.Б. "Газонефтеносность коры выветривания Шаимского района" Геология нефти и газа №6, 1973 .
2. Наливкин Д.В. "Учение о фациях", том 2, АН СССР, Москва-Ленинград 1956.
3. Рухин Л.Б. "Основы общей палеогеографии", Ленинград 1962.
4. Сынгаевский П.Е., Хафизов С.Ф., "Формация коры выветривания в осадочном цикле Западно-Сибирского бассейна", Геология нефти и газа, №11-12, 1999.
5. Трофимук А.А., Вышемирский В.С., "Проблема нефтегазоносности палеозоя на юго-востоке Западно-Сибирской низменности", Новосибирск 1976.
6. Alsop G.I., Jenkins G., and Davison I., " A Preliminary Study of Drag Zone Geometry Adjacent to Salt Diapirs. In "Salt, Sediments and Hydrocarbons", GCSSEPM, 16th Annual Research Conference, 1995.
7. Cao Y.C., Z.X. Jiang, & L.W. Qui, 1999, " Study of the type and origin of the reservoir space of igneous oil in Shang 741 block, Huimin depression, Shandong" (in Chinese with English Abstract): Acta Petrologica Sinica, v.15, p.129-136.
8. Chenoweth, P.A., "Unconformity traps" in King R.E. ed., "Stratigraphic Oil and Gas Fields - classification, exploration methods and case histories": AAPG mem.16, 1972.
9. Davis B., McDonal T., & Mohamed Aly, "Practical Applications of NMR Technology Enhance Formation Evaluation, Testing and Completion Design". SPE paper #76717.
10. Dickey Parke A., "Petroleum Development Geology", University of Tulsa, Oklahoma, 1981.
11. George S.C., 1992, " Effect of igneous intrusion on the organic geochemistry of a siltstone and an oil shale in the Midland Valley of Scotland", Organic Geochemistry, v.18, p. 705-723.
12. Jaynes, Russel S., Chafetz H. S., "A Petrologic Analysis of Caliche within the Central Texas Region" 1997. In GCAGS transactions of 47th annual convention in New Orleans, Louisiana.
13. Jukucs L., "Morphogenetics of karst regions"; New York, John Wiley and Sons, 1977.
14. Harrison H.L., Moore D., and Hodgkins P., "The Mahogany Subsalt Discovery: A Unique Hydrocarbon Play, Offshore Louisiana". In "Salt, Sediments and Hydrocarbons", GCSSEPM, 16th Annual Research Conference, 1995.
15. Harrison R.S., "Caliche profiles, indicators of near-surface subaerial diagenesis, Barbados, West Indies", Canadian Petroleum Geol. Bull., v 25, 1977.
16. Harvey Blatt, G. Middleton & R Murray. "Origin of Sedimentary Rocks", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1972.
17. Lianxing Gu, Zuowei Re, Changzhi Wu, Ming Zhao & Jin Qiu, "Hydrocarbon Reservoirs in a Trachyte Porphyry Intrusion in the Esatern Depression of the Liaohe Basin, Northeasr China". AAPG Bulletin, v86 #10. October 2002. Pp. 1821-1832.
18. Scholle, P.A., Bebour D.G., Moore C.H., "Carbonated Depositional Environments" AAPG Memoir 33, 1983. Tulsa, Oklahoma.
19. Videtich, P.E., Matthews R.K., "Origin of discontinuity surfaces in limestones; isotopic and petrographic data, Pleistocene of Barbados, West Indies": Jour. Sed. Petrology v50, 1980.

Таблица 7.7. Профиль коры выветривания гранитоидов (по данным Wahlstrom E.E., 1948)

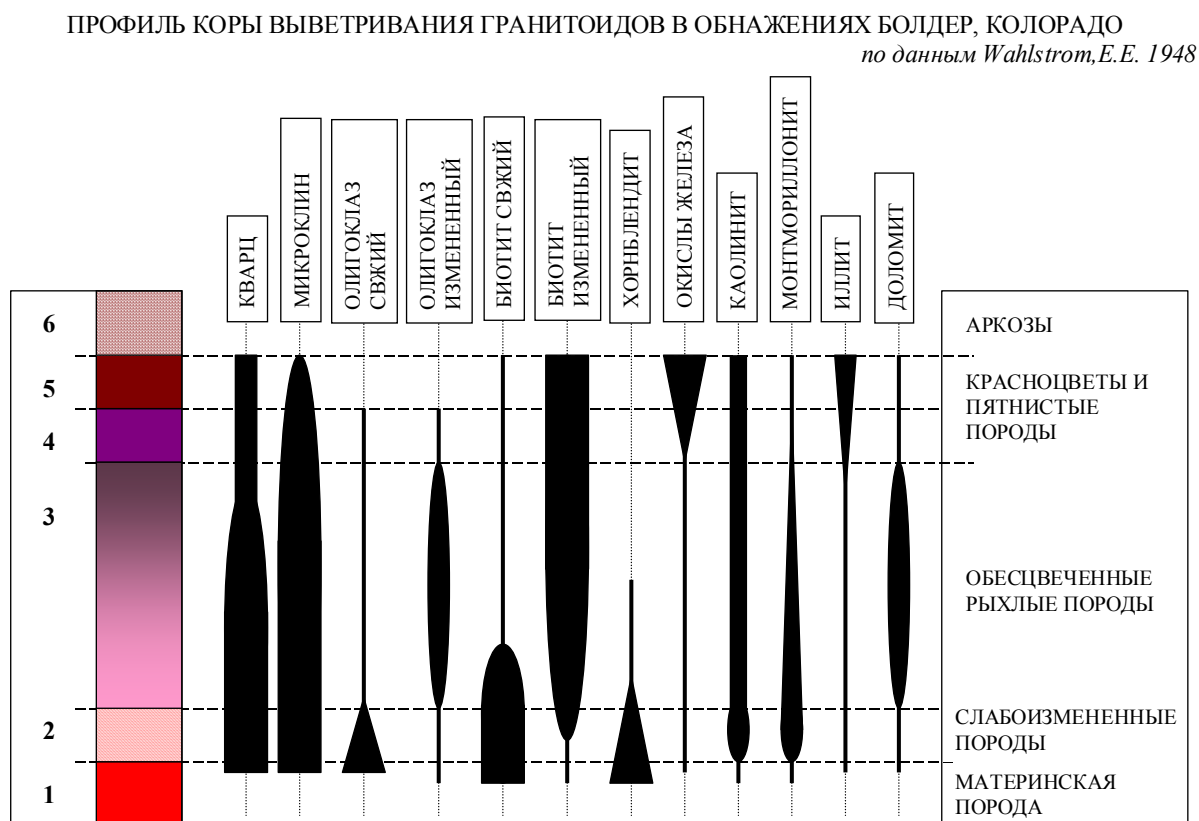


Таблица 7.8. Профиль карбонатной коры выветривания карстового типа (по данным M.Esteban & C.F. Klappa, 1983; с дополнениями из Н. Blatt, 1972)

ЗОНЫ	ПОД-ЗОНЫ	ХАРАКТЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ	МОЩНОСТЬ (М)
ВАДОЗНАЯ	ИНФИЛЬТРАЦИИ И ПРОСАЧИВАНИЯ	БИОГЕННОЕ РАСТВОРЕНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ ОСАДКА "ЛУННОЕ МОЛОКО";	0-20
	ФИЛЬТРАЦИИ	ВЕРХОВОДКА, ОСАЖДЕНИЕ НА УЧАСТКАХ НЕ СВЯЗАННЫХ С ОСНОВНЫМ УРОВНЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД;	
	КАПИЛЛЯРНЫЙ ПОДЪЕМ ВЛАГИ	ВЫПАДЕНИЕ "СПЕЛЕОТЕМ" (SPELEOTHEMS): СТАЛАКТИТЫ И ЗАВЕСИ;	0-200
НАСЫЩЕНИЯ	ЛИНЗОВИДНАЯ	РАСТВОРЕНИЕ И ЭРОЗИЯ; СТАЛАГМИТЫ И ЗАВЕСИ	0-100
	ВОЗРАСТАНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ	ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПОЛНЕНИЙ ПЕЩЕР И КАВЕРН; ОТЛОЖЕНИЯ ОБВАЛОВ И ОПОЛЗНЕЙ;	НЕОПРЕДЕЛЕН

Таблица 7.9. Некоторые данные о минералогии кор выветривания развитых по породам различного состава

	В.П. Бату́рин (1947)	Ф. Петтиджон (1949)	АА Трофиму́к (1978)
Гранитоиды	Циркон, биотит, сфен, апатит	Альбит, гранат, мусковит, турмалин, флюорит, реже - монацит, микроклин и топаз ¹	Циркон, апатит, магнетит Серицит, хлорит, эпидот
Эффузивы основные и средние	Пироксены, роговая обманка		Каолинит, лейкоксен, сферолиты сидерита ²
Слабо метаморфические		Филлиты и глинистые сланцы, кварц, зерна кварцитов, турмалин, реже биотит, мусковит, хлорит, лейкоксен	
Метаморфические	Дистен, ставролит, силлиманит и гранат	Гранат, кианит, магнетит, роговая обманка, силлиманит, ставролит, эпидот, циозит, реже - андалузит, мусковит, биотит, кислые плагиоглазы	Радиально-лучистые агрегаты сферолитов сидерита
Ультраосновные	Пироксен, шпинель, хромит		
Кислые интрузии		Апатит, биотит, кварц, микроклин, магнетит, циркон, реже - монацит, серпентин, хромит	
Осадочные/ обломочные	Циркон, рутил, турмалин	Кварц, кремниевые зерна, лейкоксен, турмалин, циркон, реже- глауконит, зерна кварцитов, рутил	Сидерит, пирит и каолинитизация в разл. формах и глиноземы (гиббсит, бёмит, диаспор) ³

При использовании этих данных для диагностики необходимо помнить, что количество тяжелых минералов не всегда пропорционально площади распространения пород соответствующего типа. Если разрушающиеся породы неустойчивы при выветривании, то несмотря на их широкое распространение в области сноса количество обломков будет незначительным даже после переноса на небольшие расстояния. Дополнительным фактором является локальный рельеф - при высокой степени его расчлененности в виде обломков встречаются и нестойкие минералы.

1. Пегматиты; 2. Авторы объединяют граниты, основные и средние эффузивы; 3. Разделяя известняки от теригенных пород, дает сходные мин. ассоциации;

Таблица 7.12

Акустические свойства и некоторые ЯМР-параметры коры выветривания и пород доюрского фундамента

СКВАЖИНА	ЛИТОЛОГИЯ	ИСПЫТАНИЯ	ФЕС*			**			
ИНТЕРВАЛ		ПРИТОК		Vp	Vs	ρ	MSIG	K	T ₂
			КЕРН	м/сек	м/сек	г/см ³	еп	(мД)	мсек
Урненская 13-Р (2364-2383)	ПЕСЧАНИКИ и ГРАВЕЛИТЫ	46.6 м ³ /сут НЕФТЬ	Φ=16.2;K=175.3	4349	2524	2.23			
(2392-2406)	ТУФЫ И ТУФООБЛОМОЧНЫЕ П. ГРАНОДИОРИТ	«СУХО» «СУХО»	Φ=15.1;K=0.84 Φ=10.3;K=1.23	3967 5015	2219 2771	2.29 2.4			
Урненская 25 (2366-81) *	КАРБОНАТЫ ПЕСЧАНИКИ КОНГЛОМЕРАТЫ	354 м ³ /сут «НЕФТЬ+ ГАЗ»	Φ=9.3;Swir=31.43 Φ=16.61;Swir=13.9 Φ=18.78;Swir=17.44			2.415 2.142 2.113			
Тямкинская 202 (3083-3090)	Ультраосновная серпентизированная порода, (амфиболовое габбро) с реликтами оливина и включениями рудных минералов (магнетит, хромшпинелид, пикотит?)	20 отв/м Депрессия = 11.5 Мпа «СУХО»	Φ=7.0-2.0; K<0.01	5326- 5394		2.48 – 2.71 2.73** мин	2.8-3.1	<0.01	4.0 16.2
Ю-Венихартская 12 (2724-2732)	Метаморфизованная п. (серпентинит ?) с разнонаправленными трещинами, выполненными кальцитом	Нсду=1172м. «СУХО»	Φ=3.25-0.2; K=0.02	6061- 6466	3132- 3605	2.66- 2.73	ИСΦ= 1.2	0.5	
Пулытинская 10323 8007	темно-зеленовато-серая, п с разносторонней трещиноватостью залеченной кальцитом	99.6 м ³ /сут «НЕФТЬ» Q=58.15 м ³ /сут					МРН= 8.5 MFFI =7.1	33.46	4.2 33.0

* = стандартные измерения на керне; ** - минералогическая плотность г/см³;

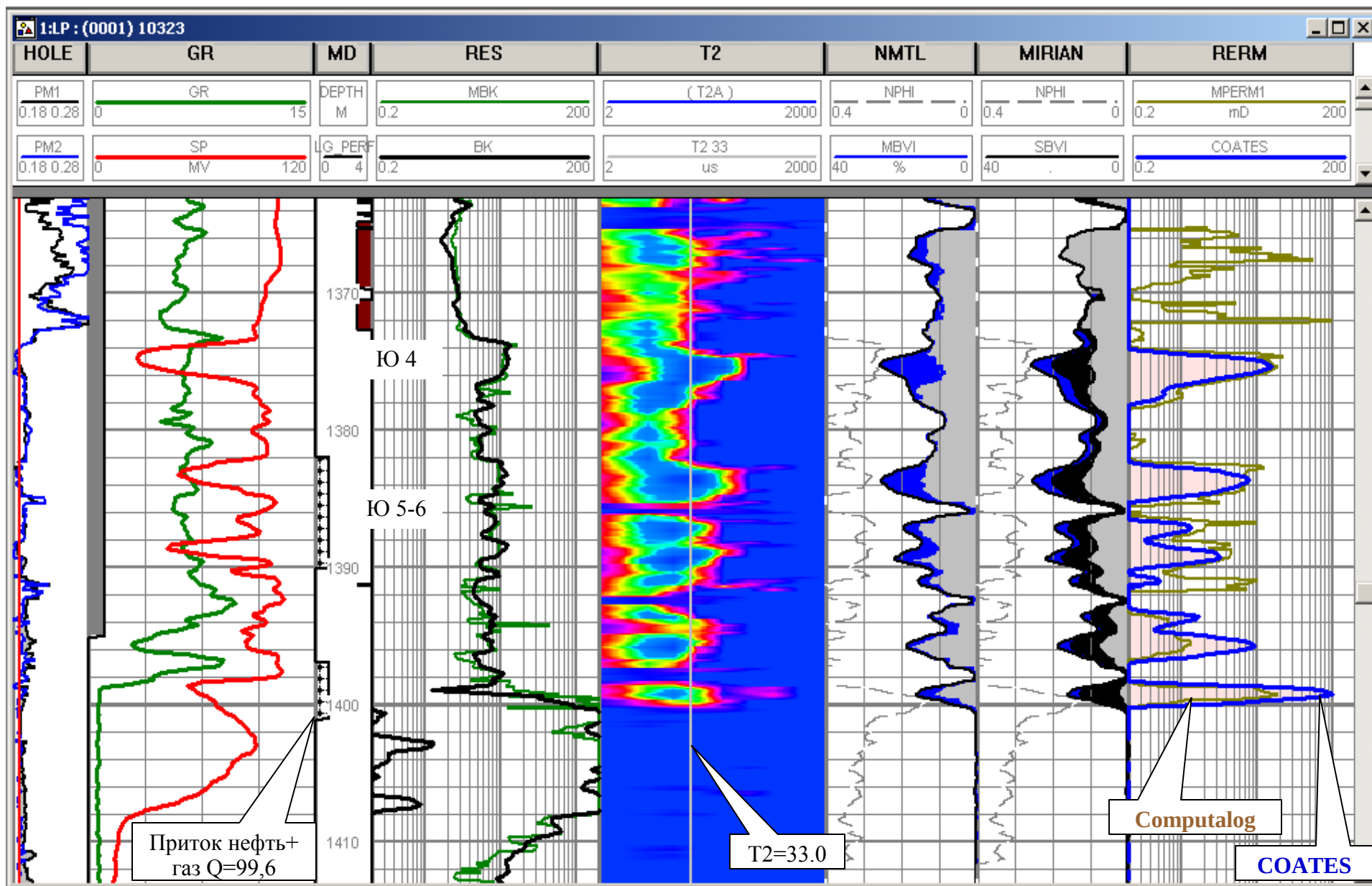


Рисунок 7.20 Пулытнинская скважина 10323, выделение коллекторов в гравийной части коры выветривания

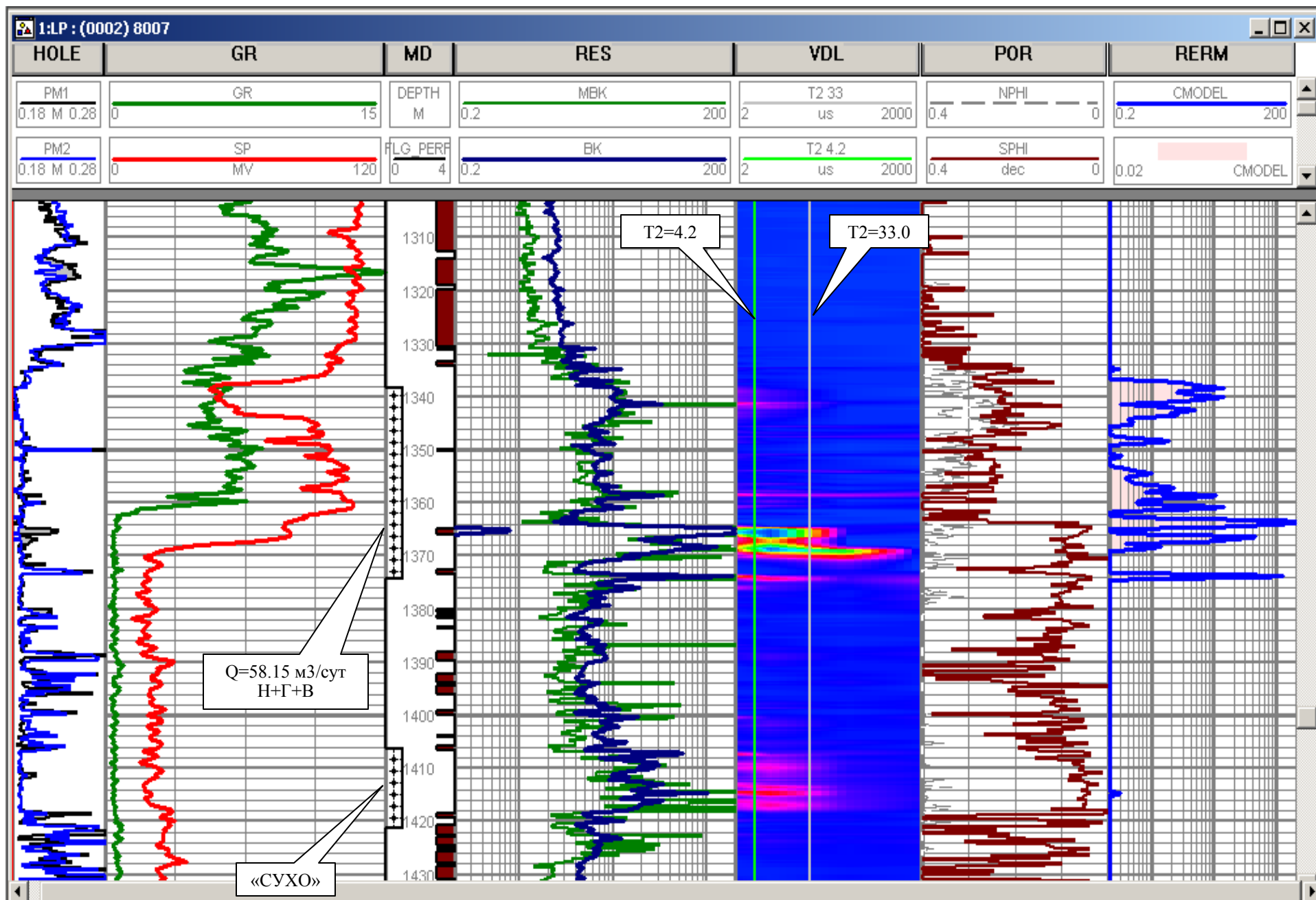
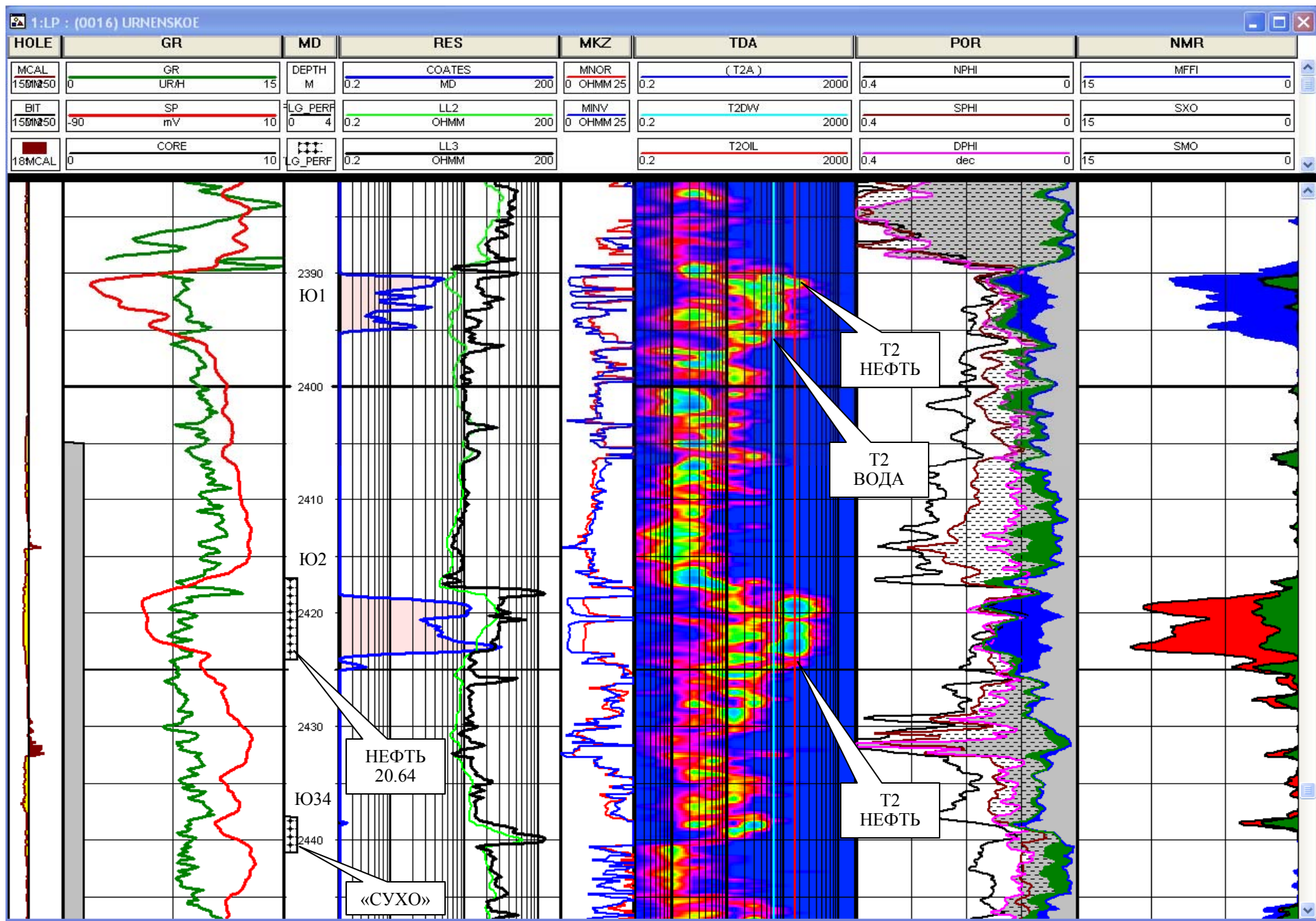


Рисунок 7.21 Пулььтинская скважина 8007, прямое моделирование сигнала ЯМР в коре выветривания



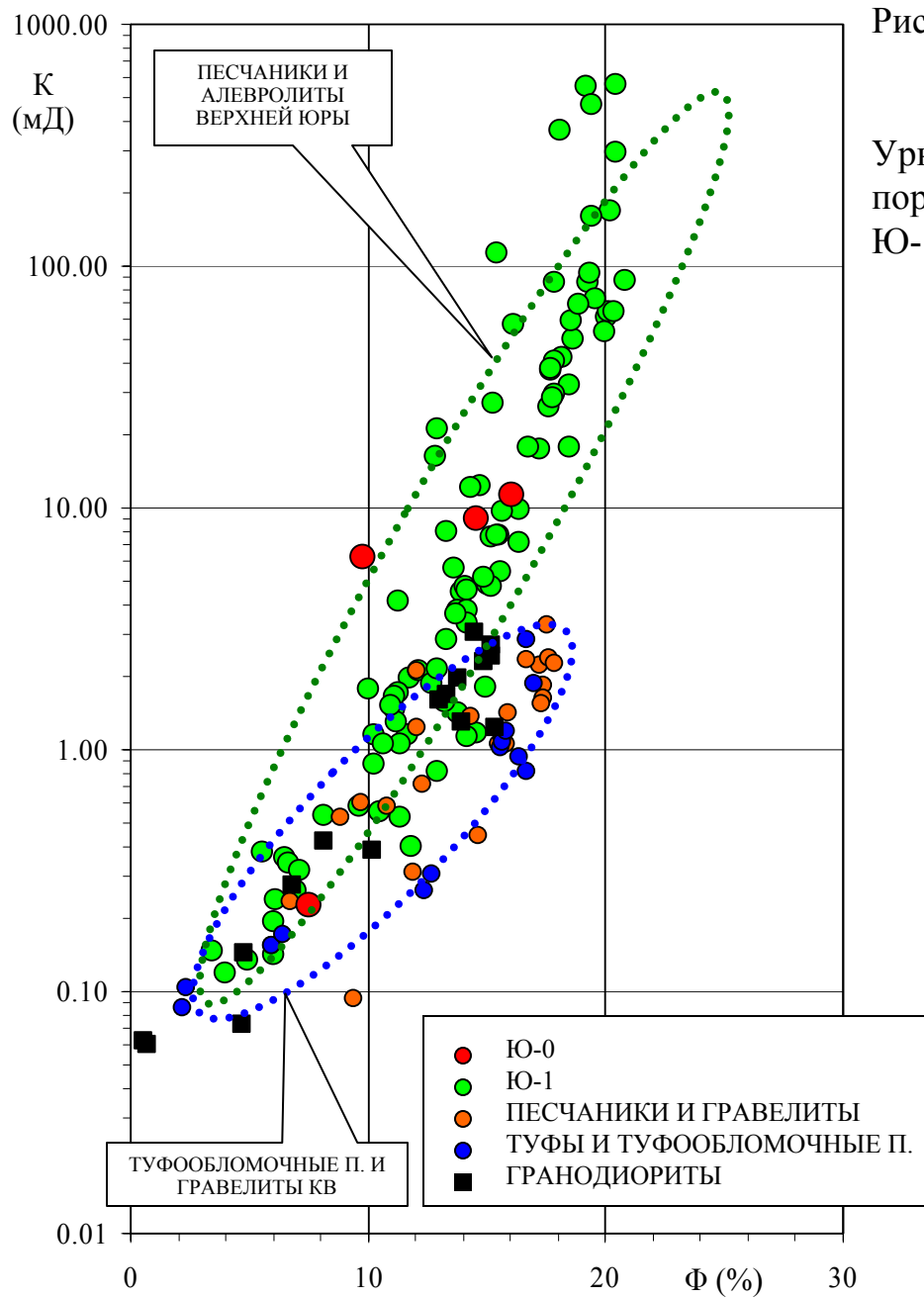
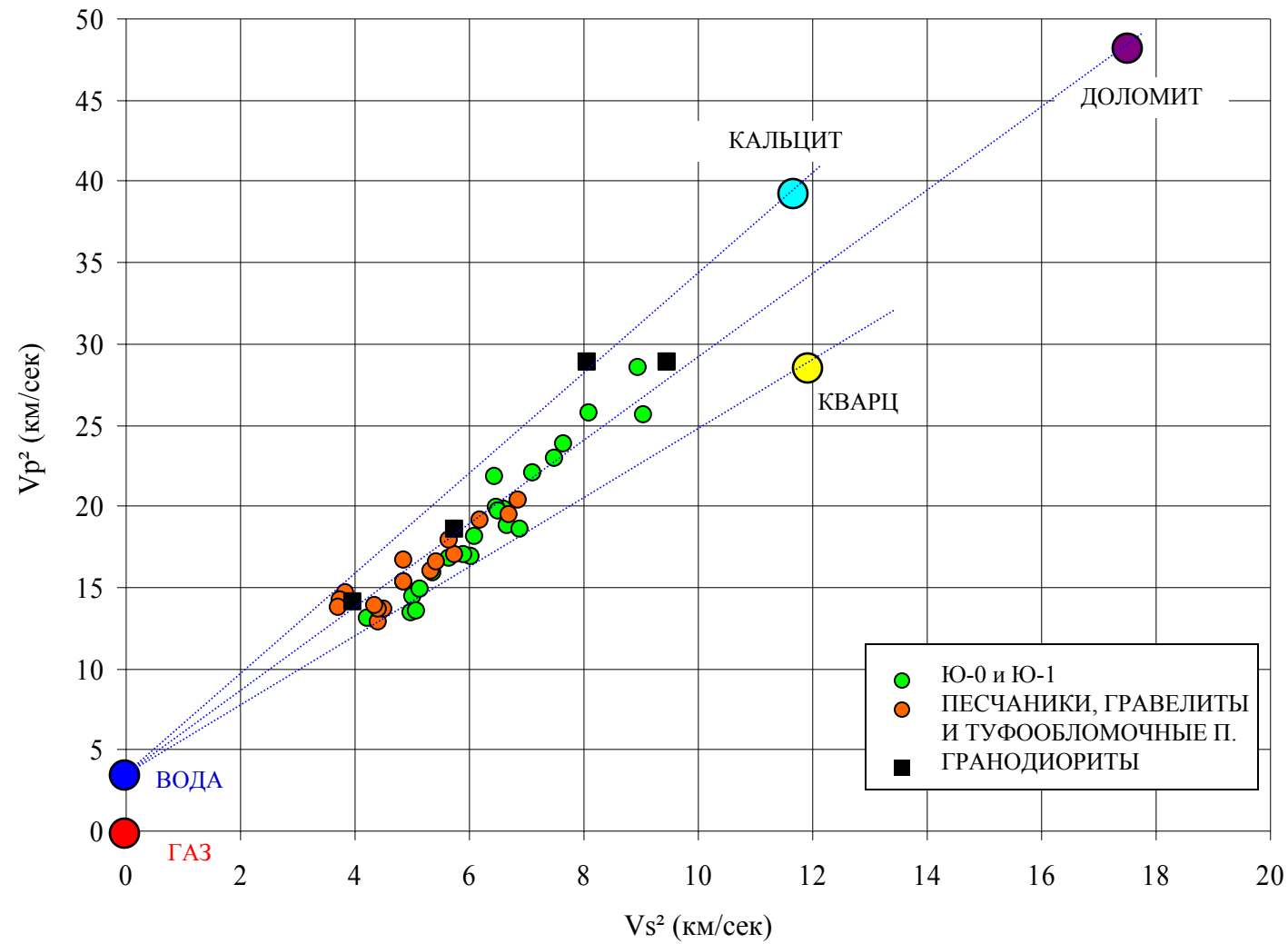


Рис. 7.23

Урненское месторождение, скв. 13. Связь общей пористости и абсолютной проницаемости пластов Ю-1 и КВ

Рис. 7.24

Урненское месторождение, скв. 13. Связь скорости пробега продольных и поперечных волн (график Крифа, 1990)



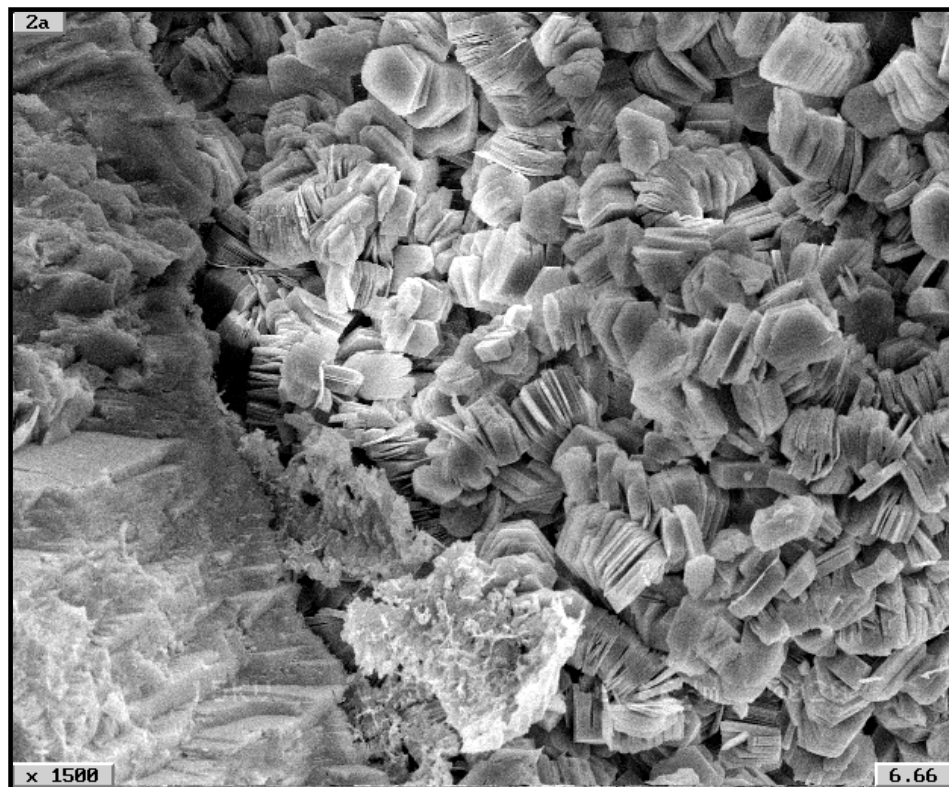


Рис. 7.25 фотография РЭМ

Урненское месторождение, скв. 13, обр. 24172-04, инт. 2363,0 – 2370,0 м, место взятия 2,2 м.

Песчаник среднезернистый алевритистый на глинистом цементе, разноориентированные пластинки и тонкопластинчатые блоки каолинита (К) псевдогексагональной формы частично заполняют пору. Увеличение 1500х. $\Phi=14.9$; $K=7.6$ мД; $Swirr = 34.6$; $\rho=2.22$ г/см³;

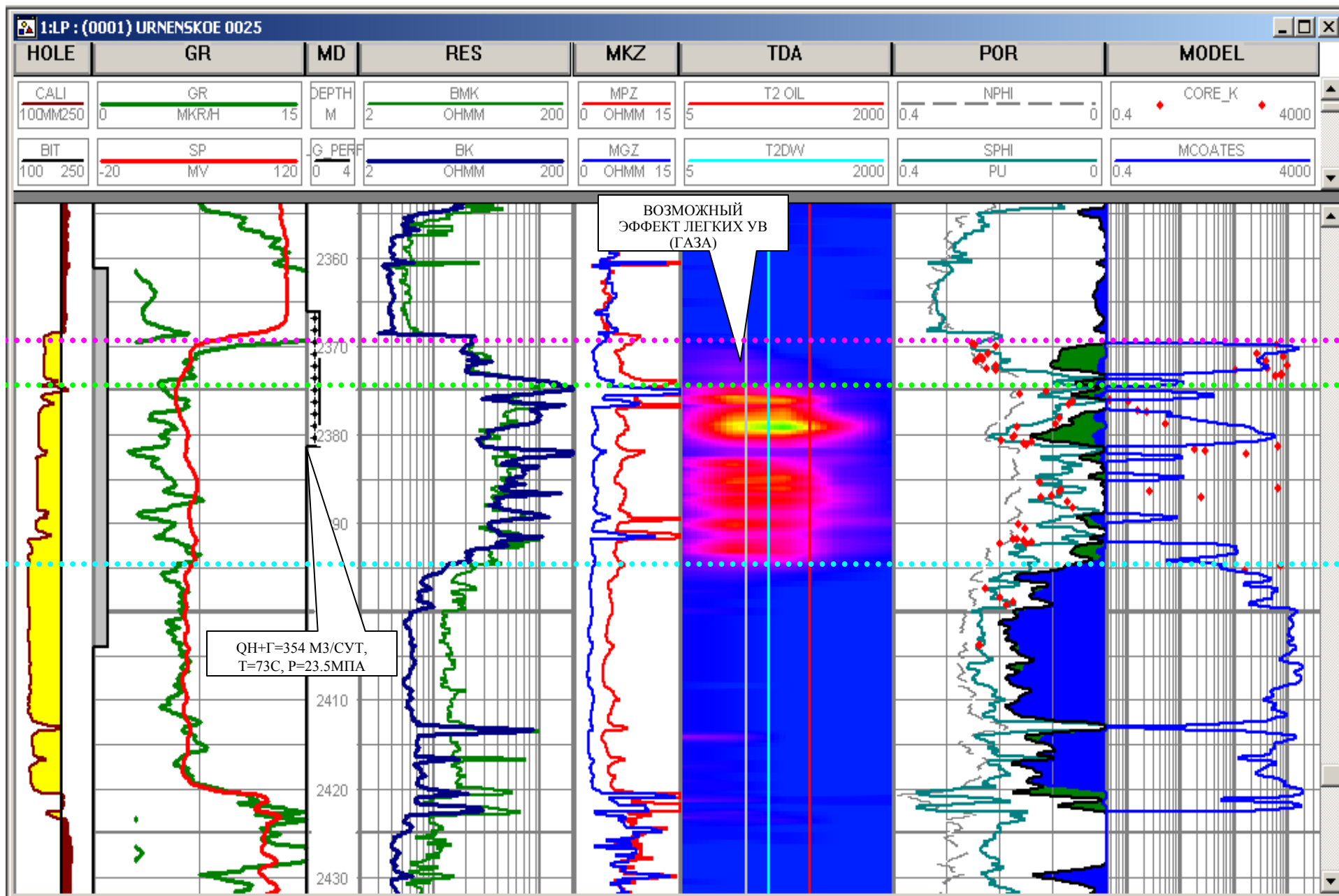


Рис. 7.26 Урненское месторождение, скв. 25. Моделирование диффузионной составляющей ЯМР-сигнала, и расчет проницаемости с использованием синтетических данных; MPHI и SBVI.

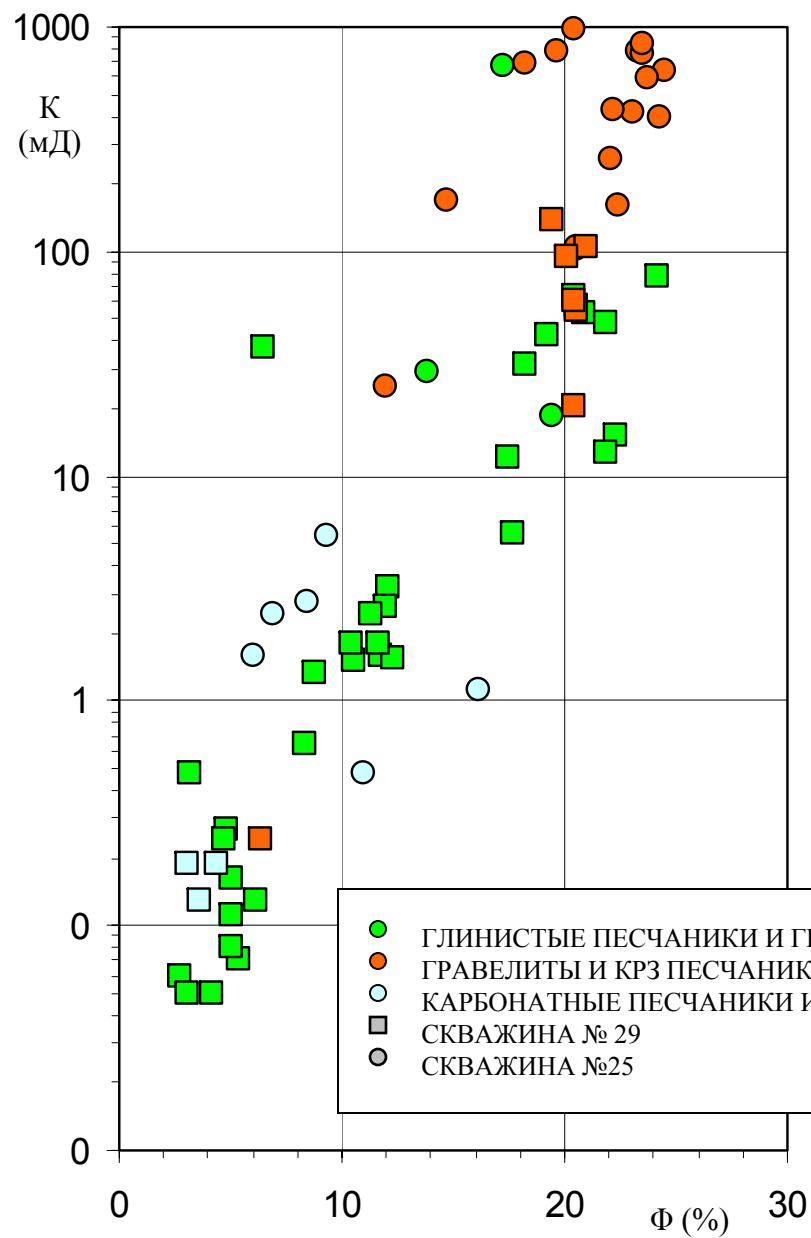


Рис. 7.27а/в

Урненское месторождение, скв. 25 и 29

А. Связь общей пористости и абсолютной проницаемости различных литотипов КВ; В. Сопоставление продольной и поперечной проницаемости

