

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАСТОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САРАТОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2018 г. В. С. Илясов¹, В. Н. Староверов²

1 – Саратовский госуниверситет

2 – АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

Илясов Валерий Сергеевич e-mail: vilyasov@nt-serv.com
Староверов Вячеслав Николаевич e-mail: staroverovvn@gmail.com

Аннотация: статья посвящена изучению процессов формирования верхнеюрских горючих сланцев Волжского бассейна. Были разработаны и проанализированы две модели формирования горючих сланцев – модель продуктивности и модель сохранения. Они детально описывают основные процессы, влияющие на формирование горючих сланцев. Были выявлены основные различия в условиях осадконакопления и сохранения горючих сланцев между отложениями, приуроченными к Поволжью и выделяемыми на Севере русской плиты.

Ключевые слова: Dorsoplanites Panderi, горючие сланцы, модель продуктивности, модель сохранения, эвстатические колебания, рециклинг, ПН.

Условия формирования пластов Волжских горючих сланцев определяются двумя моделями (рис. 1), каждая из которых отвечает определенным седиментационным и диагенетическим условиям, отражающим процесс формирования горючих сланцев на разных этапах литогенеза.

1. Модель продуктивности отвечает условиям высокой биопродуктивности бассейна. Условия, характерные для данной модели, соответствуют этапам импульсивного развития биопродуктивности бассейна, связанного, возможно, с интенсивным поступлением значительного количества биофильных элементов, мобилизованных с суши в результате развития трансгрессии и охвата новых территорий. Возможные частные эвстатические колебания послужили одной из причин низкой степени сохранности органического вещества и малых мощностей пластов горючих сланцев.

Основные элементы модели продуктивности описаны в работах Гаврилова, Юдовича, Лычорова и др. [2, 3, 8]. Между тем, набор факторов, ответственных за накопление сланценосных отложений, может существенно отличаться для разных районов обширного средневожского бассейна из-за влияния местных седиментационных и других геологических особенностей. На основании данных предыдущих исследований и собственных авторских наблюдений, модель продуктивности может выглядеть следующим образом (рис. 2).

При изучении литологических особенностей пород сланценосной толщи особое внимание уделялось характеристике основных литотипов, определению минерального состава глинистых пород, анализу петрографических и пиролитических параметров ОВ, а также характеристике цикличности. Важным индикатором реак-

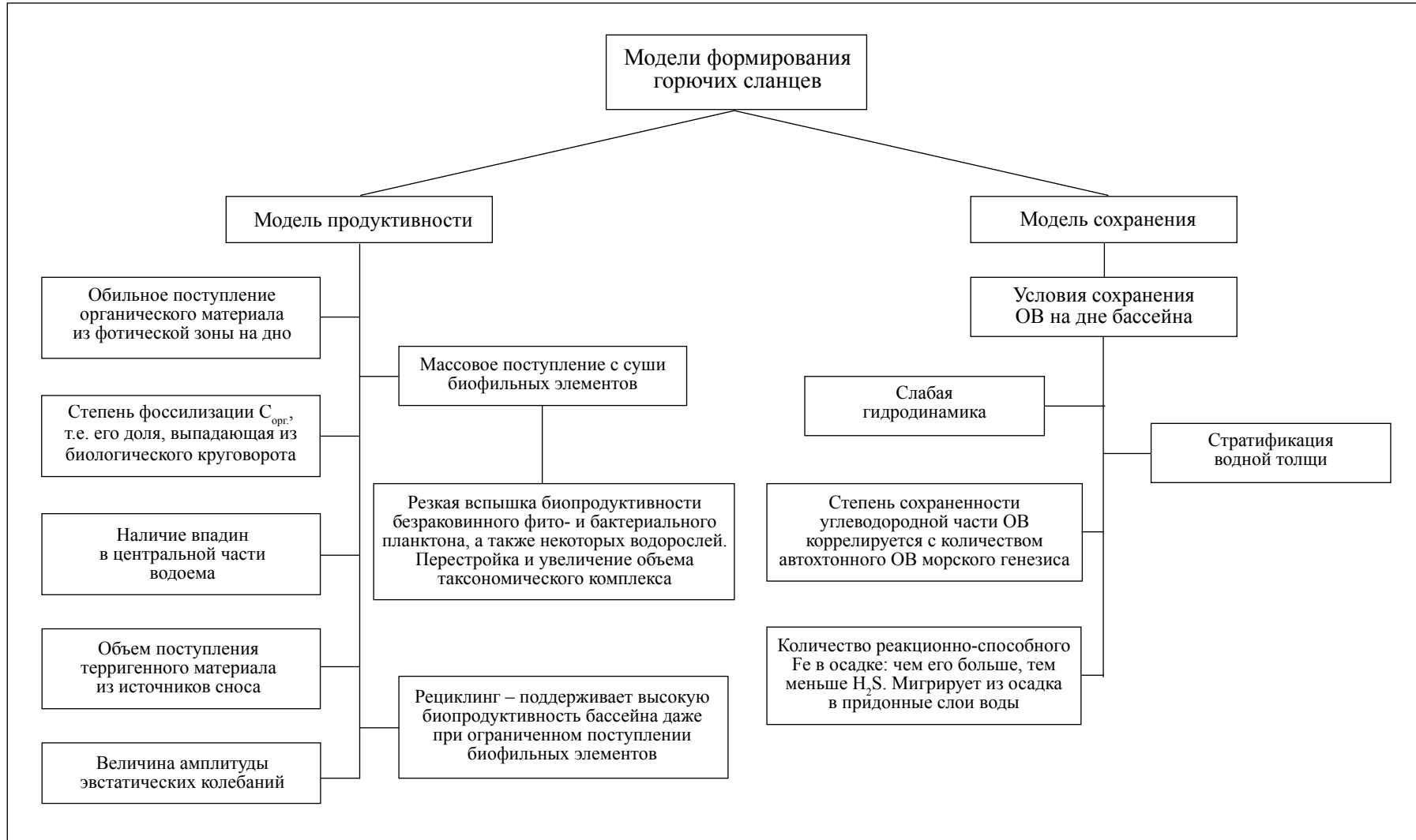


Рис. 1. Модели формирования пластов верхнеюрских горючих сланцев Волжского бассейна (на примере Коцебинского и Перелюбского месторождений)

(составил В. С. Илясов)

ции биоты на резкие колебания палеоэкологических условий во время накопления продуктивных отложений служили данные тафономических наблюдений. При этом акцент делался на изменениях разнообразия биономических комплексов, в частности на особенностях видового состава наннопланктона, фораминифер и аммонитов.

Главным фактором значительного увеличения содержания ОВ в осадках является возрастание биопродуктивности палеоводоемов. Исходя из представленной модели (рис. 2), возрастание биопродуктивности может быть связано со следующими причинами:

- **Обильное поступление органического материала из фотической зоны на дно.** Согласно данным большинства исследователей, органическое вещество горючих сланцев является полигенным и формировалось за счет различных источников. В центральных и северных районах средневожской сланценосной провинции доминирует ОВ, поступающее с прилегающей суши. В сапропелевых и алевритистых глинах Перелюбского и Коцебинского месторождений значительная часть органического вещества, представленная альгинитом и окисленным сапро-коллинитом, попадала в

конечный водоем стока с прилегающей суши [7]. Оно залегает в виде органико-неральных листоватых частиц, ориентированных в соответствии с плоскостями наслоения. Такое залегание может служить косвенным доказательством аллотигенного генезиса ОВ, а его распределение происходило в соответствии с законом гранулометрической дифференциации вещества, наглядно отраженным в работе С. В. Льюрова (рис. 3) [8]. Поэтому обильное поступление органического материала способствовало накоплению «богатых» горючих сланцев, которые формировали мощные пласты при отсутствии эвстатических колебаний. В случае преобладания автохтонного вещества (верхний сланценосный горизонт Перелюбского и Коцебинского месторождений) рассматриваемая схема приобретает следующий вид (рис. 4). На рисунке видно, что ряд завершается горючими сланцами.

- **Степень фоссилизации $S_{орг}$.** – то есть объем органического вещества, переходящий в ископаемое состояние и, как следствие, выпадающий из биологического круговорота. Чем выше скорость осадконакопления, тем быстрее илы будут перекрываться новыми порциями осадка и окажутся защищенными от механического воздействия.

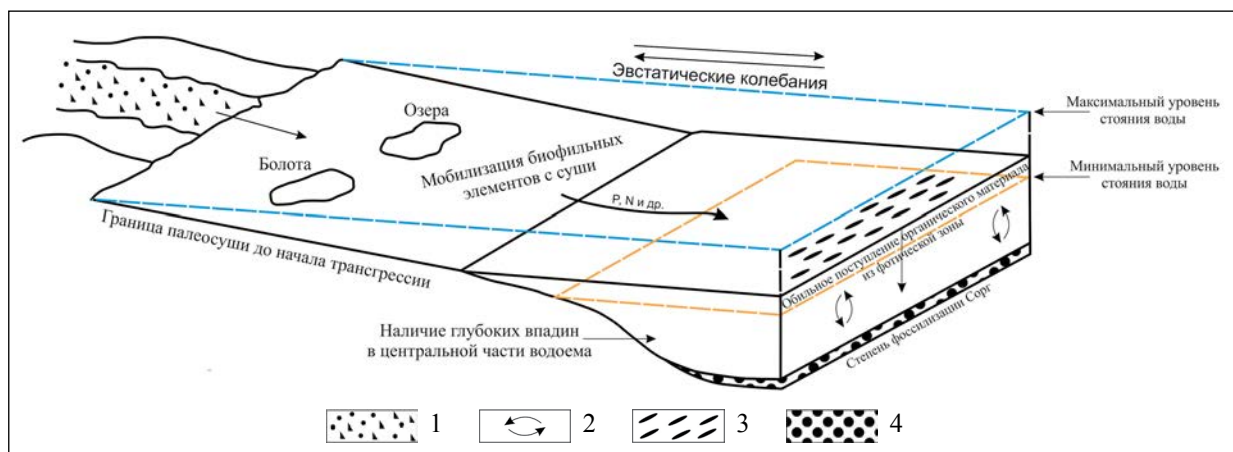


Рис. 2. Модель продуктивности горючих сланцев Волжского бассейна (составил Илясов В. С. по материалам Гаврилова Ю. О.)

1 – поступление терригенного материала с источников сноса, 2 – рециклинг, 3 – органическое вещество в фотической зоне, 4 – фоссилизированное органическое вещество

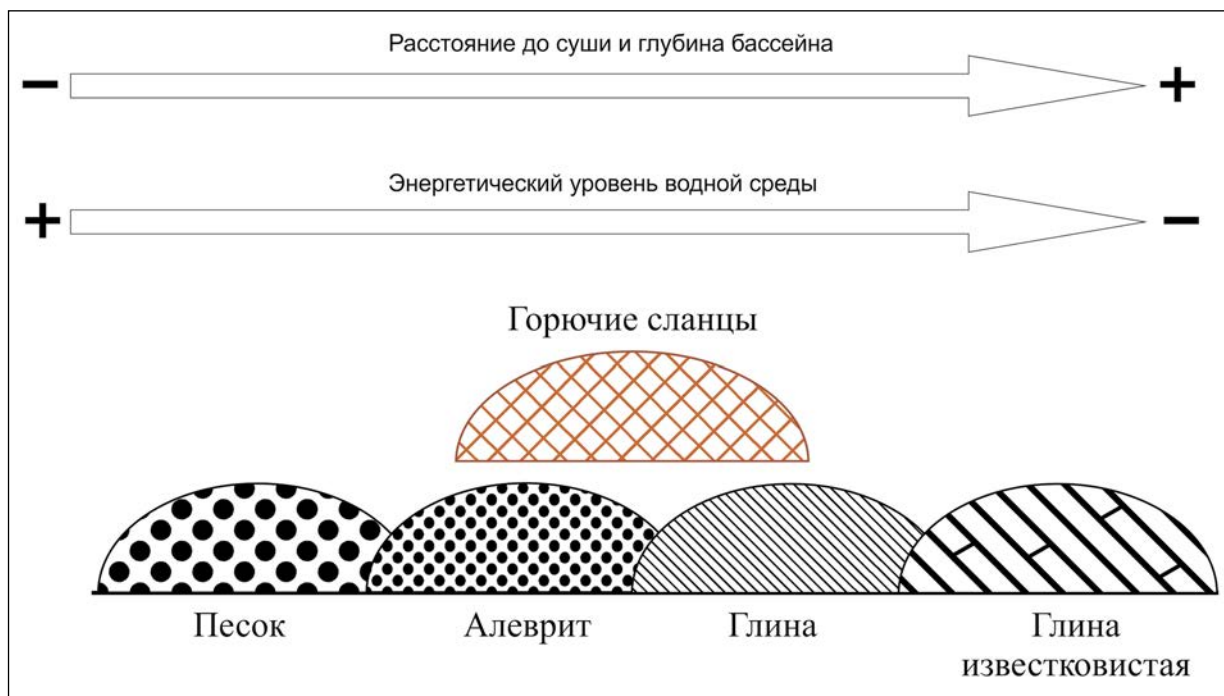


Рис. 3. Предполагаемая латеральная схема последовательности формирования основных литотипов Волжского сланцевого бассейна (при преобладании аллохтонного органического вещества) (составил С. В. Льюров с дополнениями)

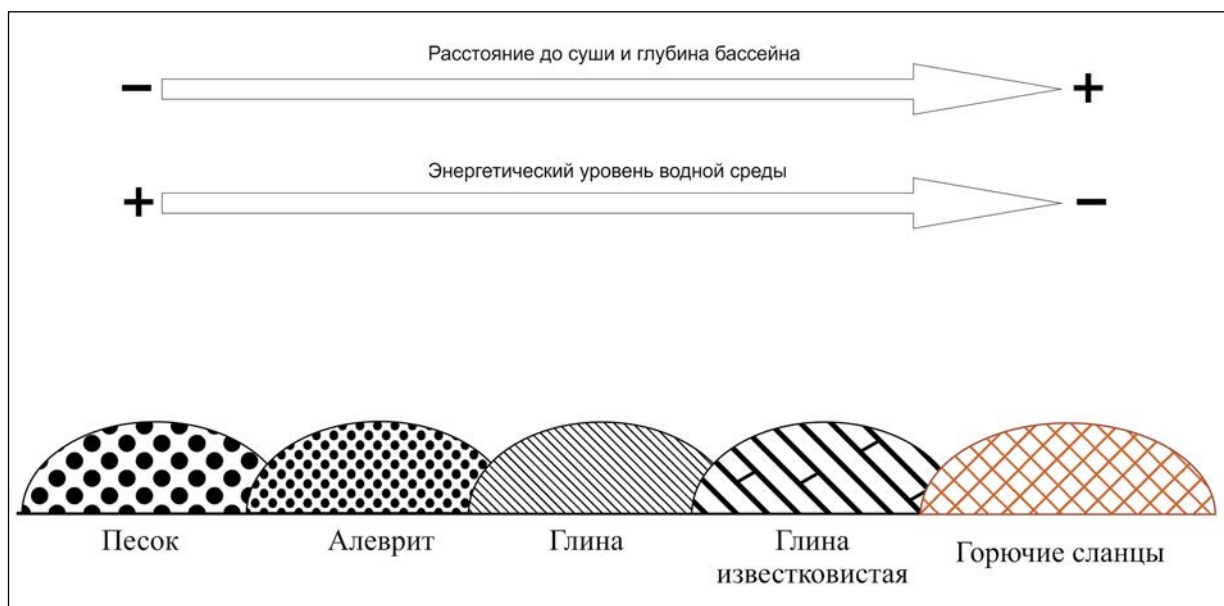


Рис. 4. Предполагаемая латеральная схема последовательности формирования основных литотипов Волжского сланцевого бассейна (при преобладании автохтонного органического вещества) (составил С. В. Льюров с дополнениями)

• **Наличие в центральной части водоема глубоких впадин.** В котловинных морях водообмен значительно затруднен, а значит более вероятна стратификация водной толщи, что отчетливо наблюдается в строении Перелюбского месторождения по сравнению с плоскими водоемами, (рис. 5).

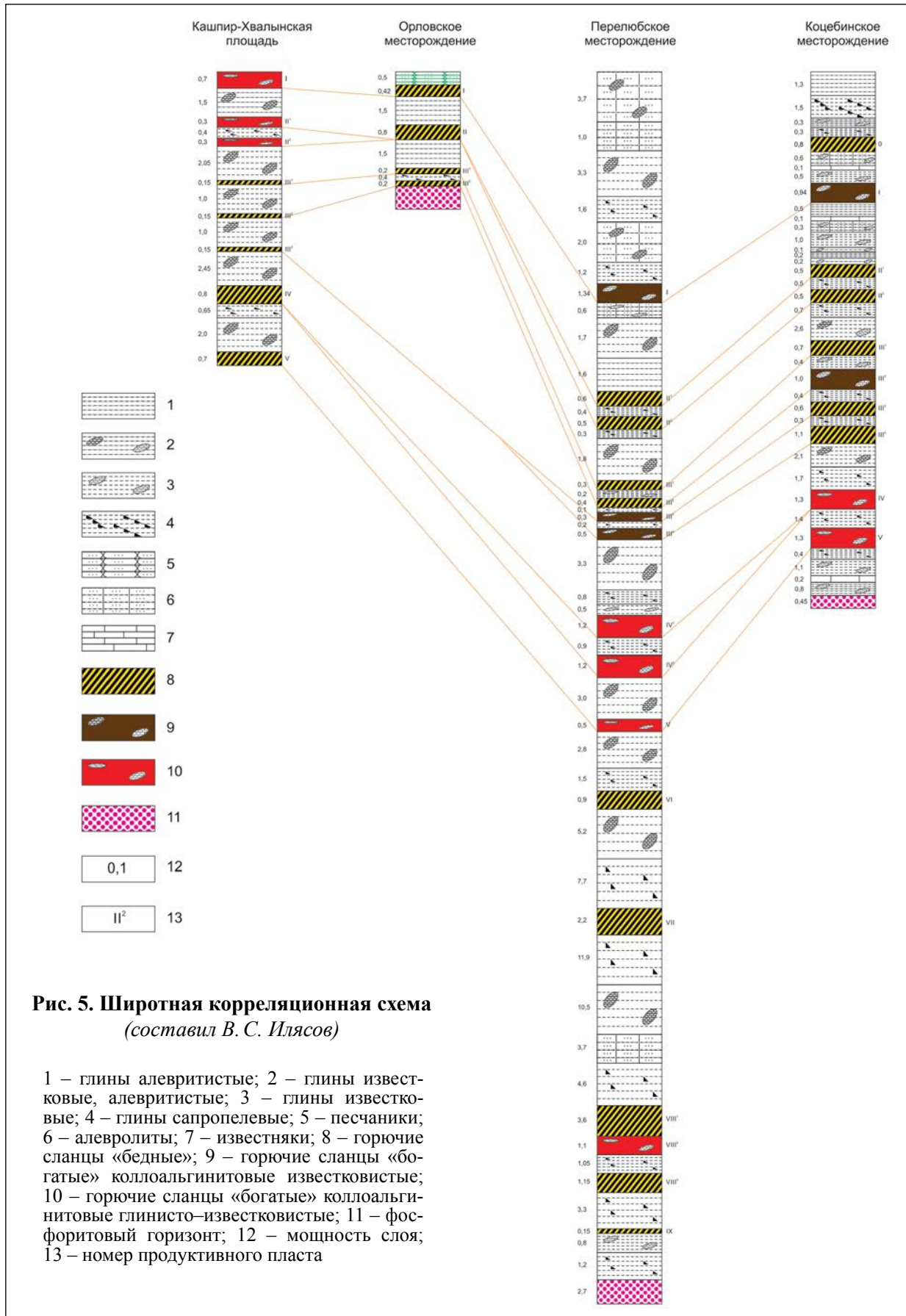


Рис. 5. Широтная корреляционная схема
(составил В. С. Илясов)

1 – глины алевритистые; 2 – глины известковые, алевритистые; 3 – глины известковые; 4 – глины сапропелевые; 5 – песчаники; 6 – алевролиты; 7 – известняки; 8 – горючие сланцы «бедные»; 9 – горючие сланцы «богатые» коллоальгинитовые известковистые; 10 – горючие сланцы «богатые» коллоальгинитовые глинисто-известковистые; 11 – фосфоритовый горизонт; 12 – мощность слоя; 13 – номер продуктивного пласта

• **Массовое поступление с суши биофильных элементов и величина амплитуды эвстатических колебаний.** Данное явление подробно рассматривается в работах Гарвилова Ю.О., Щепетовой Е.В. и др. [2, 3]. «На стадии регрессии на освобожденных от моря территориях в условиях гумидного климата быстро формировались почвы, озерно-болотные ландшафты, где происходило накопление ОВ в твердом и растворимом виде, а также соединений биофильных элементов P, N, Fe и др. После того как регрессию сменяла трансгрессия, наступавшее море взаимодействовало с другими ландшафтами. При этом в море поступали биофильные элементы, что приводило к резкой вспышке биопродуктивности наиболее низкоорганизованных форм биоты – бактериопланктона и др., следствием стало накопление обогащенных ОВ илов» [3]. Рассматривая наш объект, можно с уверенностью сказать, что частые эвстатические колебания, а также массовое поступление с суши биофильных элементов (P, N, Fe и др.) оказали значительное влияние на формирование пластов горючих сланцев. Выделение большого количества слоев разных литотипов внутри сланценовой толщи *Dorsoplanites Panderi* и их незначительные мощности (в среднем от 0,5 до 1 м) указывают на частые эвстатические колебания, которые сопровождали процесс формирования Волжского сланценового бассейна. Анализируя строение Перелюбского и Коцебинского месторождений, можно сделать вывод о том, что наиболее длительные периоды отсутствия эвстатических колебаний приходится на этап формирования глинисто-карбонатных пластов, мощность которых достигает 10 м. Примечательно, что в такие периоды накопление горючих сланцев не происходило. Значительные колебания концентрации основных биофильных элементов внутри сланценовой толщи тоже свидетельствуют о мобилизации боль-

шого объема вещества с палеосуши в результате проявления трансгрессии. Разница в концентрации основных биофильных элементов внутри сланценовой толщи достигает двух-трех кратных значений.

• **Объем поступления терригенного материала с источников сноса.** В рамках данной модели контролируется соотношение между терригенной составляющей горючего сланца и органической. Увеличение привноса терригенного материала влечет за собой уменьшение содержания органики на единицу объема породы и снижение продуктивности. Данный параметр прекрасно коррелируется с зольностью горючих сланцев, увеличение которой указывает на рост поступления терригенного материала с источников сноса. Согласно картам зольности Коцебинского месторождения, «изолированные» скважины, в которых произошел аномальный рост (зольности), отсутствуют (рис. 6). Рост зольности тесно связан с поступлением терригенного материала. На картах увеличение терригенного материала представлено «участками», начинающимися с границы месторождений и уходящими вглубь, формируя направленные поступления терригенного материала с источников сноса и выделяя зоны с более низкой степенью фоссилизации $C_{орг}$. Для каждого из продуктивных пластов составлена схема поступления терригенного материала, которая указывает на основной источник сноса. В пятом пласте мы наблюдаем раннюю стадию поступления терригенного материала с юго-востока и востока (Уральский источник сноса), который постепенно прорывается и уже в четвертом пласте охватывает всю площадь Коцебинского месторождения за исключением западной части. Начиная с третьего пласта картина резко меняется, и основным источником сноса становится Воронежская антеклиз. Теперь наибольший объем терригенного материала поступает с западной

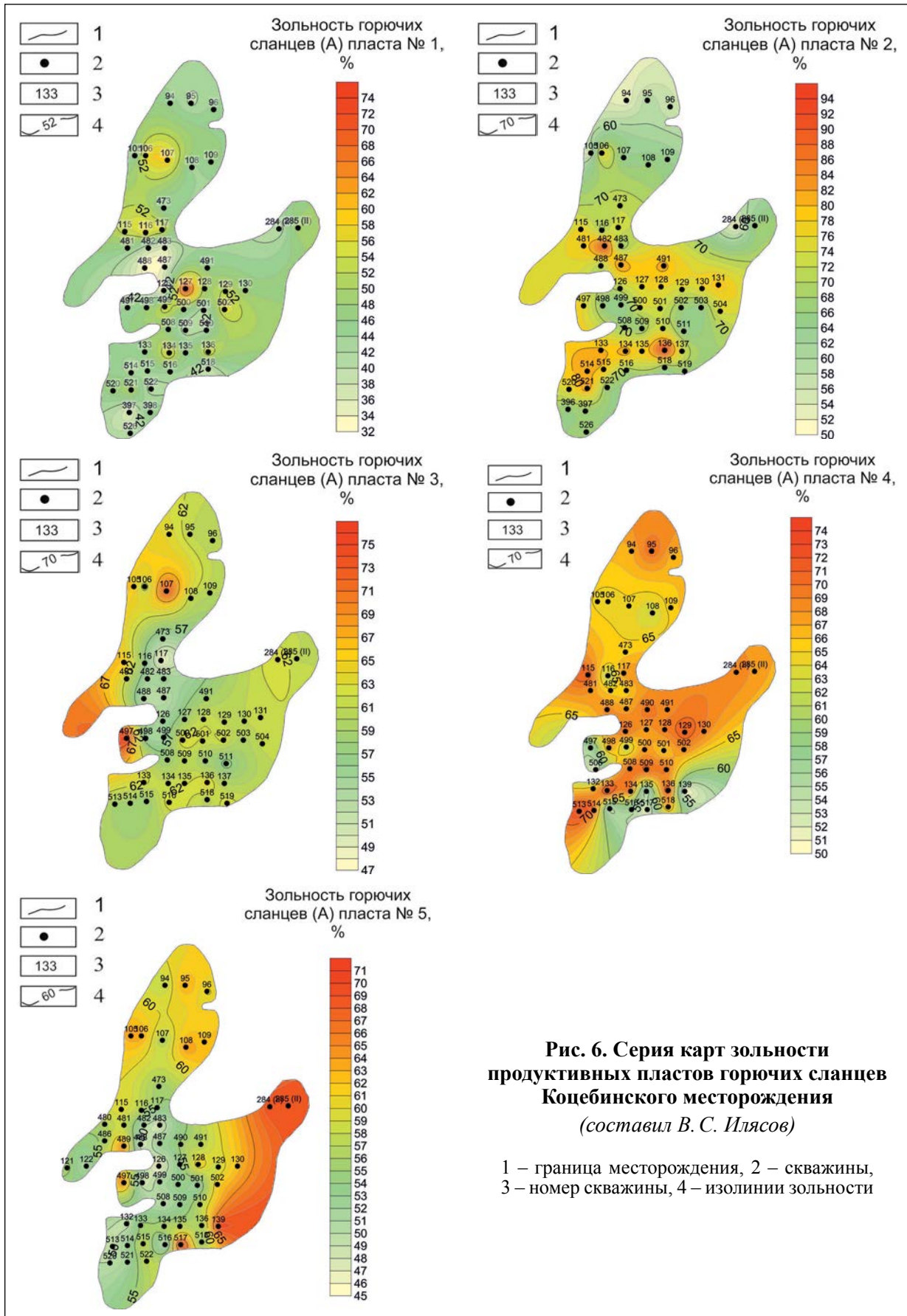


Рис. 6. Серия карт зольности продуктивных пластов горючих сланцев Коцебинского месторождения
(составил В. С. Илясов)

1 – граница месторождения, 2 – скважины, 3 – номер скважины, 4 – изолинии зольности

границы месторождения, во втором пласте прорывается в центр и на восточную часть. В первом пласте отмечается снижение объемов интенсивности поступления терригенного материала, что проявляется в сокращении зольности по всей площади Коцебинского месторождения.

• **Рециклинг** – поддержка высокой биопродуктивности бассейна даже при ограниченном поступлении биофильных элементов с суши. Если на начальных стадиях трансгрессии основным поставщиком биофильных элементов в море являлись наземные прибрежные ландшафты, то с началом процесса накопления обогащенных ОВ илов запускался рециклинг биофильных элементов непосредственно в бассейне осадконакопления, то есть возвращение из восстановленных осадков некоторых элементов, и прежде всего фосфора. Вероятно, рециклинг мог поддерживать высокую биопродуктивность в водоеме даже тогда, когда при замедлении трансгрессии поступление биофильных элементов с суши стало сокращаться [2, 3]. Данное явление наблюдается в случае стабильного накопления нескольких пластов горючих сланцев, между которыми отсутствуют глинисто-карбонатные отложения. В частности, выделяются переходы от «богатых» к «бедным» горючим сланцам и наоборот, что может свидетельствовать об отсутствии в этот период эвстатических колебаний. Проявления рециклинга, который обуславливал высокую биопродуктивность бассейна на тот момент развития, и позволяло накапливаться высококачественным горючим сланцам. В качестве примера можно привести строение Перелюбского, Озинковского и Савельевского месторождений, где в нижней части разреза выделяются несколько совместно залегающих пластов горючих сланцев, а между ними отсутствуют глинисто-карбонатные отложения, что и указывает нам на возможное проявление

рециклинга как условия высокой биопродуктивности бассейна.

На основании вышеизложенного нами были сделаны следующие выводы относительно влияния модели продуктивности на формирование сланценосной толщи. По мере развития средневожского морского бассейна происходили качественные и количественные изменения в структуре ОВ в пределах изучаемой территории. В первую половину периода формирования сланценосной толщи (пласты IX–V) доминировало ОВ, принесенное с прилегающей суши, а в дальнейшем (время накопления пластов IV–I) произошло резкое возрастание роли автохтонного органического вещества. Морской бассейн на рассматриваемой территории в ранний период формирования сланценосной толщи был очень узким и осадконакопление происходило только в пределах Перелюбского и Озинковского месторождений (рис. 6). Об этом свидетельствует и локальный характер распространения пластов IX–VI. Близость низменной суши в начале средневожского времени способствовала накоплению ОВ растительного происхождения и связанных с ним биофильных элементов. Питательные вещества для фитопланктона, вероятно, поставлялись многочисленными речными системами. Поскольку в пластах ГС верхней части разреза подавляющее количество ОВ относится к морскому типу, а континентальные поставки осуществлялись в ограниченном объеме, основным способом формирования высокоуглеродистых осадков являлся рециклинг. В редких случаях ОВ находилось в растворенном состоянии, и эта жидкая фаза утилизировалась планктоном. Следует учитывать тот факт, что из прибрежно-морских ландшафтов в КВС поступало значительное количество фосфатных соединений [9], которые являются эффективным катализатором рециклинга.

Указанных факторов не всегда было достаточно для создания высокопродуктивных горючих сланцев. Дополнительными предпосылками для накопления углеродистых илов являлись расширения таксономического разнообразия в составе наннопланктонных комплексов, которые характеризовались резким увеличением роли динофлагеллят и бактериопланктона (Гаврилов, Копаевич). По данным Ю. О. Гаврилова и др. [3], важным фактором средневожской седиментации являются особенности распространения наннопланктона в разрезах и по площади. Его максимальные концентрации в породах сланценой толщи Центральных районов (разрез «Ивкино» в Костромской области) зафиксированы в карбонатных прослоях, а в пластах ГС их количество сокращается до минимума.

Стоит отметить интересную деталь, которая характеризует таксономический состав планктонных комплексов. Между некоторыми видами не обнаружены переходные формы, что может выступать косвенным доказательством приспособления отдельных особей к обитанию в новой палео-экологической обстановке, например к водной толще с четкой стратификацией взамен стандартного распределения геохимических условий.

Связь возникновения некоторых геохимических аномалий с эвстатическими колебаниями Мирового океана убедительно обоснована в работах Гаврилова Ю. О. и Копаевич Л. Ф. [2, 3].

Импульсное накопление углеродистых осадков большинство исследователей [2, 3, 11] объясняют многократными эвстатическими колебаниями уровня моря, которые сопровождались периодическим осушением низменной части, поставившей в бассейн седиментации огромное количество биофильных элементов. Особенно эффективно данный механизм действовал во второй половине средневожского этапа

(пласты V–I), когда морской бассейн значительно продвинулся на восток, вплоть до Соль-Илецкого выступа. Это могло способствовать более высокому качеству верхних пластов горючих сланцев на большинстве месторождений Самарского и Саратовского Поволжья.

Положительным фактором, который одновременно оказывал влияние и на продуктивность органики, и на степень сохранности ОВ, являлась специфика механической дифференциации вещества в конечном водоеме стока. В фациальном ряду осадков, направленном от береговой линии к удаленным акваториям, зона накопления водорослевой органики и гумусового детрита располагалась между алевритистыми и пелитовыми илами (рис. 3) (Лыуров С. В.). Поэтому любые эвстатические колебания уровня воды вызывали смещения зоны сланцеобразования по поверхности морского дна. Таким образом могут быть объяснены многочисленные примеры расщепления сланцевых пластов в периферийных участках и их монолитность в центральной зоне сланценакопления.

2. Модель сохранения. Даже при очень благоприятных предпосылках к накоплению осадков, обогащенных ОВ, не весь объем мог перейти в ископаемое состояние. Необходимо наличие факторов, способных сохранить накопившееся органическое вещество от механического разрушения или физико-химических преобразований (рис. 7). Между тем первым и очень важным элементом в модели сохранения является количество исходного ОВ, накопившегося в донных илах во время седиментации. Очевидно, что при прочих равных условиях чем выше биопродуктивность конечных водоемов стока, тем больше шансов для его сохранности. Данная модель отвечает за степень сохранности органического вещества, как в процессе накопления, так и в процессе диагенеза. Ус-

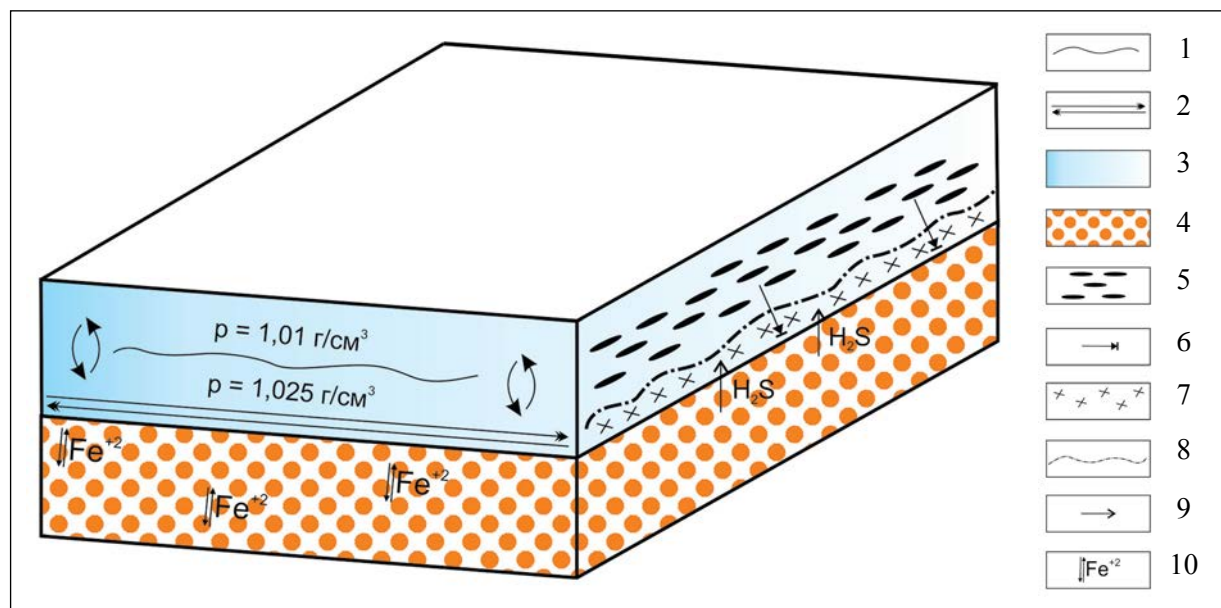


Рис. 7. Модель сохранения горючих сланцев Волжского бассейна

(составил В. С. Илясов)

1 – стратификация водной массы, 2 – гидродинамическая интенсивность, 3 – водная толща, 4 – осадочная толща, 5 – автохтонное органическое вещество, 6 – седиментация органического вещества с различной степенью сохранности, 7 – заморы молодежи аммонитов, 8 – придонные слои воды, 9 – диффундирование сероводорода из осадков, 10 – доля реакционно-способного железа в осадке

ловия, соответствующие этой модели, развиваются при наличии частых эвстатических колебаний, неблагоприятных условий для жизни и развития бентоса, планктона и фитопланктона, и при низких объемах поступления терригенного материала с источников сноса. В шлифах исследуемых образцов отмечается наличие сидерита, пирита и минералов, отвечающих восстановительным и резко-восстановительным условиям.

В основе модели сохранения лежат следующие факторы (рис. 1):

- **Количество автохтонного ОВ** морского генезиса, которое содержится в сланцах. Значения величин водородного индекса (НИ), определенного для пород Коцебинского и Перелюбского месторождений, в большинстве образцов (пласты V–I) колеблются в пределах от 936 до 1089. Такие значения обычно характерны для керогена морского происхождения [6]. В противовес последнему, образцы из продуктивной тол-

щи Кашпирской площади отличаются более низкими показателями НИ от 632 до 1081, что может свидетельствовать о доминировании наземного источника биомассы. Отсюда можно сделать вывод о более высоком качестве горючих сланцев Перелюбского и Коцебинского месторождений, приуроченных к восточной части бассейна.

- **Степень сохранности ОВ морского генезиса** зависит от периодического возникновения аноксидных условий, при которых прекращалось окисление органического вещества, а весь исходный его объем участвовал в формировании высокоуглеродистых осадков. В процессе седиментации многократно менялись геохимические обстановки – от резко восстановительных в периоды формирования углеродистых илов до слабо восстановительных во время накопления глинисто-карбонатных осадков. Максимальное ухудшение экологической обстановки в придонных слоях наступало

в заключительную фазу накопления углеродистых слоек. Об этом свидетельствуют массовые, неотсортированные скопления раковин макрофауны на поверхности углестых сланцев, в том числе и юных особей аммонитов. Характерно совместное залегание аммонитов различных размеров. Наиболее крупные экземпляры достигают 2–3 см, наряду с ними встречаются мелкие формы (несколько мм в поперечнике) ювенильных особей. Широкое распространение последних объясняется влиянием аноксидных обстановок.

Хорошим индикатором изменений геохимических обстановок во время осадконакопления является состав и структура фораминиферных ориктоценозов. При формировании глинистых пород (литотип «кокколитовые глины») характерны наиболее богатые и разнообразные сообщества фораминифер. Микрофаунистические ассоциации содержат до 50 видов, а фораминиферное число (количество экземпляров на 100 г породы) колеблется в пределах от 500 до 9000 [7]. Примечательно, что основная масса фораминифер относится к агглютинирующему типу, что свидетельствует о значительной примеси в составе илов алевро-песчаной фракции. Подобное сочетание количественных и качественных характеристик фораминифер становилось возможным при благоприятной экологической обстановке в морском бассейне, в частности при массовом развитии фитопланктона, который служил для них основным источником питания. Другими словами, во время накопления рассматриваемых пелитовых илов продуктивный потенциал средневожского бассейна тоже был достаточно высоким.

Для сапропелевых глин характерен несколько иной ориктоценоз фораминифер. Количество видов в отдельных прослоях достигает 25-ти, а фораминиферное число изменяется от 150 до 500. Примерно вы-

равнивается соотношению секреторного и агглютинирующего бентоса.

В литотипе горючих сланцев «низкокалорийных» фораминиферная ассоциация становится еще более бедной, диагностировано не более 10 видов [7]. Фораминиферное число лишь в отдельных пластах достигает 200, а объем секреторного бентоса превалирует над агглютинирующим, что указывает нам на сокращение поступления терригенного материала с источников сноса. Таким образом, четко прослеживается тренд обеднения комплекса бентосных фораминифер от кокколитовых глин к горючим сланцам. Предполагаем, что биопродуктивность средневожского бассейна, характерная для низших форм, оставалась относительно стабильной на протяжении всего процесса осадконакопления, тогда как высшие формы бентоса испытывали определенное угнетение. Вероятно, образование сланценосных осадков контролировалось, преимущественно, степенью сохранности ОВ.

Формирование аноксидных условий обязательно сопровождалось активным расходом кислорода и на фоне обогащения придонных слоев воды значительными массами сероводорода, который диффундировал из придонных слоев на стадии диагенеза [2, 3]. При обсуждении такого механизма, как правило, рассматривается вопрос об источнике серы в донных осадках. Не является исключением и средневожский сланценосный бассейн. По мнению Н.Б. Погребнова [10], повышенное содержание серы в органическом веществе горючих сланцев объясняется тем, что практически на всей территории, обрамлявшей с востока бассейн седиментации, в составе размываемых пород суши широким распространением характеризовались карбонатно-сульфатные образования пермской системы. Такие толщи поставляли растворенные сульфаты в конечные водоемы стока и способствовали

формированию аномального химического режима. Из осадков в придонные слои воды диффундировали образованные в диагенезе значительные объемы сероводорода. В результате происходил активный расход кислорода и в водной толще формировались аноксидные обстановки. Таким образом, содержание S в ОВ горючих сланцев средневожского бассейна является аномальным даже по сравнению с одновозрастными сланценосными толщами из других регионов.

Вполне возможно, что сера попадала в уже литифицированные породы значительно позже диагенеза. В Нижнем Поволжье известны многочисленные примеры прорывания сланценосных отложений кепроками соляных куполов верхней перми. В частности, в разрезе Каражыр на территории Волгоградской области зафиксировано сокращение мощности средневожских отложений и их интенсивное кливажирование в результате воздействия соляно-купольного тектогенеза [7].

• **Гидродинамика бассейна.** Возникновение аноксидных обстановок напрямую связано с гидродинамикой бассейна. При условии спокойной гидродинамической обстановки и отсутствии подводных течений поступление кислорода в придонную часть затруднено, что приводит к образованию аноксидных условий, высокой степени фоссилизации и в дальнейшем к сохранности органического вещества. Эффективность влияния анаэробного диагенеза на сероводородное заражение и его последующее воздействие на биоту, с одной стороны, зависит от активности диагенетических процессов, а с другой – подчиняется особенностям стратификации водной массы. Периоды с активной гидродинамикой, которые диагностируются по резкому возрастанию в породе рассеянного раковинного детрита и отсортированным по размерам обломкам раковин, способствовали созда-

нию обстановок, неблагоприятных для консервации ОВ в исходных осадках.

Доказательства низкой гидродинамики водной массы могут быть получены при анализе текстурных признаков в горных породах. Почти во всех литотипах горючих сланцев и сапропелевых глин наиболее распространена тонкая горизонтальная слоистость, в том числе и «ленточного» типа. В пользу слабой активности вод также свидетельствуют микротекстуры глинистых пород. Для глин, обогащенных сапропелевым веществом, характерно чередование округло-уплощенных частиц, четко ориентированных по наслоению. Дополнительным аргументом в пользу спокойных гидродинамических условий служат тонкостенные раковины или их обломки, как двусторчатых моллюсков, так и аммоноидей.

Одним из важных факторов, влиявших на сохранность ОВ в частности и качество продуктивных пластов в целом, является постседиментационное механическое и химическое воздействие на сапропелевое вещество. Химические изменения проявлены в виде многочисленных примеров окисления как органогенных, так и минеральных компонентов. В результате в горючих сланцах с довольно высокими содержаниями $C_{орг}$ (12–21%) могут присутствовать линзочки окисленных сланцев, залегающие среди более богатых разностей [1]. Влияние окислительных процессов на минеральную составляющую подтверждается появлением лимонита и глауконита в составе сапропелевых глин Перелюбского месторождения и алевро-глинистых разностях Чаганского разреза. Процессы окисления также могли затрагивать ОВ в исходных илах горючих сланцев «бедного» типа. Об этом можно судить по неравномерной окраске микролинз альгинита, которая в ряде случаев изменяется от светло-желтой до красно-бурой.

В «богатых» сланцах альгинит отличается более высокой степенью сохранности

и, как следствие, большей однородностью окраски на фоне интенсивного растворения макрофауны. В таких горючих сланцах лишь отпечатки раковин, от окисления ОВ защищала не только восстановительная среда, но и быстрая литификация сапропелевых илов.

Таким образом, степень окисления органического вещества, соответственно и его сохранность, уменьшалась в ряду литотипов сапропелевые глины – «бедные» ГС – «богатые» ГС, и наоборот, возрастала степень его сохранности.

Примеры механического воздействия на осадки, участвующие в образовании горючих сланцев, известны в разрезах восточных районов распространения сланценовой толщи, где они вскрыты скважинами на Соль-Илецком выступе. Среди пород средневожского возраста встречены прослойки с явными признаками окисления ОВ, интенсивной трещиноватостью и многочисленными биотурбациями. Такие генетические признаки могли быть обусловлены кратковременными перерывами в осадконакоплении в подводных условиях и образованием поверхностей типа *soft-ground*.

Не исключаются и более поздние изменения качества углеродистых пород, которые произошли в субаэральных обстановках. На территории Нижнего Поволжья и Оренбургской области известны многочисленные обнажения, в которых породы Волжского сланценового бассейна непосредственно выходят на земную поверхность либо перекрыты маломощным чехлом четвертичных образований, то есть могли подвергаться процессам гипергенеза в течение десятков миллионов лет.

• **Стратификация водной толщи.** Под стратификацией водной (с. в.) толщи понимается распределение плотности воды по вертикали (градиент). Чем больше увеличение плотности с глубиной и чем больше ее вертикальный градиент, тем выше

устойчивость с. в. При обратном изменении плотности и при малых ее вертикальных градиентах с. в. неустойчива. Устойчивая с. в. обуславливает уменьшение вертикального обмена теплом, веществом и количеством движения. Неустойчивая с. в. определяет интенсивный вертикальный обмен в толще воды. В океанах и морях с. в. определяется в основном изменениями температуры и солености воды на поверхности и в толще, где колебания данных параметров связаны с адвекцией и адиабатическими процессами. Следовательно, можно сделать вывод о том, что в случае устойчивой с. в. наблюдался уменьшенный гидродинамический обмен, что приводило к более высокой степени сохранности органического вещества. Возможно, в волжское время имело место периодическое опреснение поверхностных вод, что влекло за собой снижение плотности поверхностных вод приблизительно до $1,01 \text{ г/см}^3$ (при средней плотности морской воды $1,02\text{--}1,025 \text{ г/см}^3$), в результате чего скорость седиментации органических и терригенных компонентов в интервале опресненных вод значительно увеличивалась, что снизило, а возможно и нивелировало влияние гидродинамики поверхностных вод, в частности течений. Это создавало благоприятные предпосылки для формирования пластов горючих сланцев. В качестве примера рассматриваются I, VIII и IX пласты горючих сланцев, где, согласно данным Т. Ф. Букиной, имело место периодическое опреснение бассейна, которое связывается с появлением в данных продуктивных пластах эвригалинных форм лингул и песчаных фораминифер [1]. Более четко выраженной стратификации водной толщи также способствовал котловинный тип строения морского бассейна, что четко видно на геологических разрезах субширотной ориентировки (рис. 5).

• **Количество реакционно-способного железа.** Количество реакционно-способно-

го железа отражает условия сохранности органического вещества на каждом этапе развития Волжского бассейна, также может являться индикатором сероводородного заражения дна. Наиболее высокие концентрации двухвалентного реакционно-способного железа отмечаются в I (4,35%) и III (3,40%) пластах горючих сланцев, при средних значениях 2,3% внутри сланценовой толщи. Согласно исследования Т.Ф. Букиной [1], именно в I и III пластах отмечаются «заморы» молодости аммонитов, качественный и количественный бедный палеоценоз, большинство органических остатков представлено мелкими формами. Все это указывает на сильную угнетенность фауны, причиной которой являлся затрудненный газообмен, возможно имело место сероводородное заражение, результатом которого стала высокая степень сохранности и продуктивности I и III пласта горючих сланцев.

Выводы

Проведенные исследования позволили охарактеризовать условия осадконакопления в южных районах средневожского бассейна и тем самым дополнить информацию, полученную другими исследователями центральной и бореальной зон.

Таким образом, формирование горючих сланцев Волжского сланценового бассейна характеризуется двумя моделями – продуктивности и сохранения. Образование горючих сланцев, а также их дальнейшее сохранение, происходило согласно процессам двух рассматриваемых моделей.

Данные модели характеризуются развитием определенных факторов, совокупность которых и определяет благоприятные условия для формирования горючих сланцев. К наиболее важным процессам в модели продуктивности стоит отнести эвстатические колебания, рециклинг, объем поступления органического материала из фотической зоны, объем поступления тер-

ригенного материала и степень фоссилизации $C_{орг}$. Для модели сохранения нужно отметить количество автохтонного ОВ, а также степень его сохранности.

По сравнению с разрезами Среднего Поволжья и северными районами Восточно-Европейской платформы, рассматриваемые месторождения горючих сланцев отличаются рядом особенностей: а) здесь зафиксированы самые мощные разрезы в составе сланценовой толщи; б) полнота разрезов может меняться на относительно небольших расстояниях, что проявляется в разнообразных литологических, геохимических, пиролитических и технологических характеристиках сырья; в) полнота разрезов проявляется в отсутствии биотурбаций и значимых перерывов в осадконакоплении – наблюдаются только внутри- и межслоевые диастемы; г) тип органического вещества меняется как по латерали, так и по вертикали – если в западной части, а также в нижнем сланценовом горизонте выделяются пласты с невысокими значениями HI (~ 600), что указывает нам на присутствие аллохтонного органического вещества, то восточная часть бассейна, а также верхний сланценовый горизонт преимущественно включают в себя пласты с высокими значениями $HI > 1000$, что говорит о доминировании автохтонного вещества; д) эвстатические колебания оказали большое влияние на строение сланценовой толщи, это объясняется наличием большого количества слоев с малой мощностью, выделяемой внутри зоны *Dorsoplanites panderi*.

Степень постседиментационных преобразований горючих сланцев невелика и соответствует стадии раннего катагенеза, поскольку мощность перекрывающих пород обычно не превышает 100–150 м. Исключением являются правобережные участки Волги, где мощность вскрыши может достигать 300 м. Поэтому геохимические параметры, влияющие на сохран-

ность ОВ, сформировались исключительно на стадии диагенеза.

Можно предположить, что образование прослоев, обогащенных ОВ, в большей степени связано с увеличением биопродуктивности водоема седиментации и в меньшей – с перестройкой таксономической структуры планктонного комплекса. Из этого следует, что стрессовое воздействие H_2S на биотическое сообщество происходило преимущественно в придонных слоях воды,

в отличие от бореальных районов средне-волжского моря.

Однообразный состав органического вещества в ГС (преимущественно коллоальгинит) указывает на универсальные причины сланцеобразования на всей территории средневолжского бассейна. Описанные выше региональные отличия в большей степени обусловлены спецификой процессов сохранности накопившегося ОВ, нежели изменениями продуктивности.

Л и т е р а т у р а

1. Букина Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна. – Саратов: изд-во Саратов. ун-та, 2013. – 128 с.
2. Гаврилов Ю. О. О возможных причинах накопления отложений, обогащенных органическим веществом, в связи с эвстатическими колебаниями уровня моря // Проблемы эволюции биосферы. – М.: Недра, 1994. – С. 305–311.
3. Седиментология, геохимия и биота Волжских углеродистых отложений средней части среднерусского моря (Костромская область) / Ю. О. Гаврилов, Е. В. Щепетова, М. А. Рогов, Е. А. Щербина // Литология и полезные ископаемые. – 2008. – № 4. – С. 396–424.
4. Зубов Н. Н. Динамическая океанология. – М.-Л., 1947.
5. Илясов В. С., Староверов В. Н. Роль седиментационного фактора в формировании сланценосной толщи сред-неволжского подъяруса на юге-востоке Волго-Уральской антеклизы // Инновации в разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений. – Казань: изд-во ИЛХАС, 2016. – Т. 1. – С. 176–299.
6. Илясов В. С., Староверов В. Н., Воробьева Е. В. О влиянии литологического состава горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна на их технологические параметры // Приборы и системы Разведочной геофизики. – 2016. – № 58. – С. 92–102.
7. Разрез верхнеюрских сланценосных отложений волжского бассейна (зона *Dorsoplanites panderi*) / под ред. З. А. Яночкиной, А. В. Иванова (соавторы Г. В. Кулева, Т. Ф. Букина, В. Н. Барышникова, Е. А. Троицкая, В. Н. Еремин) // Труды НИИГео Саратов. ун-та. Новая серия. – Саратов: Научная книга, 2004. – Т. XVII. – 110 с.
8. Льюров С. В. Юрские отложения севера Русской плиты. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 140 с.
9. Михайлов Б. М. Рудоносные коры выветривания. – Ленинград: Недра, 1986. – 238 с.
10. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12-ти томах. Том 12: Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР / Н. И. Погребнов, и др. – М.: Недра, 1978. – 259 с.
11. Щепетова Е. В. Седиментология и геохимия углеродистых толщ верхней юры и нижнего мела Русской плиты: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-минерал. наук. – М., 2011. – 24 с.