

На правах рукописи

Щепетова Елена Владимировна

**Седиментология и геохимия углеродистых толщ
верхней юры и нижнего мела Русской плиты**

Специальность 25.00.06 – литология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Геологическом институте РАН

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук
Ю.О. Гаврилов
(Геологический институт РАН)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук
С.А. Сидоренко
(Институт проблем нефти и газа РАН)

доктор геолого-минералогических наук
В.Б. Курносов
(Геологический институт РАН)

Ведущая организация:

Геологический факультет Московского государственного
университета имени М.В.Ломоносова

Защита диссертации состоится «12» апреля 2011 г. в 14.30 на заседании диссер-
тационного совета Д 002.215.02 при Геологическом институте РАН по адресу:
119017, г. Москва, Пыжевский пер, 7, тел. (495)-959-34-97, e-mail: [tamara-
sadchikova@yandex.ru](mailto:tamara-sadchikova@yandex.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделении геологической литературы
Библиотеки по естественным наукам РАН (Старомонетный пер., д. 35)

Автореферат разослан « ____ » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Т.А. Садчикова

Актуальность проблемы. Обогащенные органическим веществом (ОВ) древние морские отложения вызывают повышенный интерес у исследователей, поскольку являются потенциальным источником нефтяных углеводородов и индикатором специфических палеогеографических условий, возникавших на обширных территориях палеобассейнов, не имеющих современных аналогов. В проблеме реконструкции обстановок формирования этих отложений остаются нерешенные вопросы. Центральное место в ней занимает вопрос о соотношении роли биопродуктивности водоемов [Страхов, 1937, 1976; Pedersen, Calvert, 1990, 1991 и др.] и аноксидных условий в водной толще [Demaison, Moore, 1980; 1991 и др.]. В связи с этим особую актуальность приобретает детальное исследование специфических седиментологических, литолого-геохимических и биотических параметров морских углеродистых отложений, возникает необходимость проведения сравнительного анализа разных по условиям образования объектов.

Объекты исследования. Верхнеюрский – нижнемеловой осадочный комплекс Русской плиты (РП) включает два интервала широкого распространения обогащенных ОВ отложений (рис. 1): *средневожский* – толщу чередования слоев «горючих» сланцев и известково-глинистых пород и *раннеаптский* – горизонт «битуминозных» сланцев. Эти толщи разделены сравнительно небольшим промежутком времени, однако существенно различаются по строению, уровню содержания ОВ, литологическим и биотическим характеристикам. Степень постседиментационных преобразований верхнеюрских и нижнемеловых отложений РП не превосходит начальных стадий раннего катагенеза, поэтому особенности углеродистых толщ отражают в основном картину, сложившуюся на стадиях осадконакопления и диагенеза.

Благоприятные для накопления ОВ морские обстановки в поздней юре и раннем мелу возникали в субглобальном (поздняя юра – начало раннего мела в Бореальном поясе) и глобальном (аптский «Selli level» или ОАЕ-1а) масштабах. Поэтому присущие средневожской и раннеаптской углеродистым толщам РП различия, возможно, отражают некоторую общую специфику позднеюрских и средневожских обстановок накопления ОВ.

Целью работы было выяснение общих закономерностей и специфических особенностей накопления ОВ в осадках вожского и аптского морских бассейнов Русской плиты, реконструкция обстановок формирования углеродистых отложений в контексте истории развития разновозрастных водоемов.

Для этого требовалось решить следующие **задачи**:

- изучить особенности «фоновой» седиментации в вожском и аптском морских водоемах РП и динамику накопления в них ОВ;
- определить происхождение ОВ петрографическими и пиролитическими методами;
- выявить признаки колебаний кислородного режима и оценить их влияние на накопление ОВ;

- изучить распределение химических элементов в волжских и аптских отложениях, выяснить особенности их поведения в разных обстановках накопления ОВ;
- реконструировать палеогеографические события, способствовавшие возникновению в волжском и аптском водоемах благоприятных для накопления ОВ обстановок.

Фактический материал и методика исследования. Работа основана на материале, собранном при изучении верхнеюрских и нижнемеловых отложений в ходе полевых работ (1996–2007 гг.), проводившихся в разных частях РП (в Ульяновской, Сызранской, Саратовской, Костромской, Кировской областях и в Республике Коми) и при исследовании керн отдельных скважин (№№ 120 и 559, Саратовское Заволжье).

Исследования выполнялись по единой методике, основанной на детальном послойном расчленении разрезов, наиболее полно фиксирующем особенности стратификации осадочных толщ (в первую очередь, связанные с изменениями в содержании ОВ). Основное внимание уделялось седиментационным текстурам и характеру биотурбации; петрографическим и пиролитическим параметрам ОВ, ассоциациям глинистых минералов – индикаторам возможных климатических флуктуаций; особенностям распределения химических элементов, в том числе редокс-чувствительных.

Для уточнения стратиграфического положения углеродистых толщ на обширной территории РП и выяснения возрастных соотношений с аналогичными отложениями других районов Мира использовались современные биостратиграфические данные (по аммонитам, известковому наннопланктону, фораминиферам).

Химические анализы выполнялись в Лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН ($C_{орг}$, CO_2 , Fe, Mn, Ti, P, S определялись химическими методами, остальные элементы – эмиссионным спектральным методом (спектрометр PGS-1) и РФА). Пиролитические исследования проводились на приборах Rock-Eval II в ГЕОХИ РАН и ИГиРГИ. Рентгено-дифрактометрическая диагностика минералов выполнялась в Лаборатории физических методов изучения породообразующих минералов ГИН РАН.

Защищаемые положения:

1. В мезозойских осадочных толщах Русской плиты выделяется два уровня отложений, интенсивно обогащенных ОВ – средневожский (зона Panderi) и нижне-аптский (зона Volgensis). Они являются региональным проявлением обстановок накопления углеродистых осадков, имевших субглобальное (поздняя юра – начало раннего мела в Бореальном поясе) и глобальное (аптский «Selli level» или ОАЕ-1а) распространение. Структура углеродистых толщ различна. В средневожское время накопление ОВ характеризовалось импульсностью, вследствие чего образовалась сланценосная толща с отчетливой циклической структурой. Элементарные осадочные циклиты (до 1 м) характеризуются контрастным распределением $C_{орг}$ и $CaCO_3$. В раннем апте ОВ накапливалось в морских осадках более равномерно, что привело к образованию относительно монотонного горизонта битуминозных сланцев.

2. На основе пиролитических и микроскопических исследований показано, что и в средневожских, и в раннеаптских углеродистых осадках накапливалось автохтонное морское ОВ, основным источником которого служила биомасса примитивных морских водорослей. Кероген средневожских углеродистых сланцев (I-II тип) содержит незначительное количество органики наземного происхождения; в керогене нижнеаптских углеродистых сланцев (II тип) вклад наземного ОВ более значителен. Углеродистые сланцы обоих интервалов обогащены близким спектром химических элементов, которые по степени концентрации распределяются на две группы: 1) Mo, S, Se превышают кларковые значения в 10 раз и более; 2) V, Ag, Cu, P, Ni, Co, Zn – в 2–5 раз.
3. По комплексу седиментологических, биотических и геохимических параметров установлено, что а) в центральной части раннеаптского морского бассейна во время накопления углеродистых осадков существовала стабильная аноксидная обстановка; б) в депрессиях средневожского водоема, где накапливались углеродистые осадки, аноксидные обстановки были неустойчивы и часто прерывались как кратковременными, так и более продолжительными (первые десятки тыс. лет) периодами нормализации кислородного режима.
4. Формирование углеродистых толщ происходило в разных по типу седиментации бассейнах: средне-позднеюрском с карбонатно-терригенным и в среднемеловом с терригенным осадконакоплением. Обе толщи формировались на фоне колебаний уровня моря разного порядка, влиявших на седиментологические и геохимические параметры отложений. Рост содержания органического вещества в обоих случаях был обусловлен резким ростом продуктивности органикостенного планктона. Причиной этого роста было усиленное поступление в водоем биофильных элементов с суши в ходе быстро развивавшихся трансгрессий.

Научная новизна. Впервые выполнено целенаправленное исследование мезозойских морских углеродистых толщ Русской плиты, которые рассматриваются как индикаторы специфических палеогеографических обстановок субглобального и глобального распространения. Проведено детальное литолого-геохимическое изучение средневожской и раннеаптской углеродистых толщ на обширной территории их современного развития. Значительная часть изученных разрезов верхнеюрских и нижнемеловых отложений описана и проинтерпретирована впервые. Получены крупные массивы данных о концентрациях $C_{орг}$, $CaCO_3$ и широкого спектра химических элементов, изучены закономерности их распределения в контрастных по содержанию ОВ верхнеюрских и нижнемеловых отложениях. Проведен сравнительный анализ углеродистых толщ по комплексу ключевых седиментологических параметров, выявлены общие и специфические закономерности накопления ОВ в разновозрастных бассейнах Русской плиты. Предложен механизм формирования обогащенных ОВ вожских и аптских отложений, рассмотрены особенности его реализации в разных палеогеографических условиях.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные в работе данные могут быть использованы при построении общих моделей образования морских углеродистых отложений; при региональных геолого-съемочных и специальных литолого-геохимических исследованиях, в новых разработках по использованию сланцев в качестве источника углеводородного сырья; данные по содержанию в изученных отложениях различных (в т.ч. токсичных) химических элементов следует учитывать при различных экологических экспертизах. Результаты работы могут использоваться в курсах лекций для студентов и аспирантов ВУЗов.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Основные положения докладывались на конференции «Проблемные вопросы региональной и местной стратиграфии фанерозоя Поволжья и Прикаспия» (Саратов, 2001), Геологическом съезде Республики Коми (Сыктывкар, 2004), Всероссийских литологических совещаниях (2003, 2008), научной сессии «Палеонтология, биостратиграфия, и палеобиогеография бореального мезозоя», посвященной 95-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.Н. Сакса (Новосибирск, 2006); Всероссийских совещаниях «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» (2005; 2009); на ассамблеях EGU (2003, 2008); на Международном конгрессе по юрской системе (Китай, Шехонг, 2010); на заседаниях Лаборатории седиментологии и геохимии осадочных бассейнов и ежегодных научных конкурсных сессиях ГИН РАН.

Исследования по теме диссертации были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (гранты №№ 03-05-64840; 06-05-65282; 09-05-00872).

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 192 страницах; состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (174 наименования); включает 56 рисунков и 6 таблиц, 2 приложения).

Благодарности. Автор искренне благодарен научному руководителю Ю.О. Гаврилову за профессиональную помощь и неизменную поддержку, признателен В.Н. Холодову за доброжелательную и конструктивную критику первого варианта диссертации; особая благодарность – Е.Ю. Барабошкину, инициатору и активному участнику исследований. Выражаю свою благодарность и признательность друзьям и наставникам, коллегам по институту и полевым экспедициям, Т.Ф. Букиной, Д.А. Бушневу, В.А. Захарову, М.Е. Горшковой, Е.В. Голубовской, А.Ю. Гужикову, В.А. Дрицу, М.С. Зонн, В.Ю. Лаврушину, М.В. Лучицкой, С.В. Льюрову, В.В. Петровой, А.Г. Олферьеву, Е.В. Покровской, М.А.Рогову, Т.А. Садчиковой, И.Е. Стукаловой, А.Л. Соколовой, И.А. Чистяковой, Е.А. Щербининой за дружеское участие, помощь, советы и консультации на разных этапах выполнения работы.

Глава 1. Углеродистые толщи верхней юры и нижнего мела Русской плиты: общие геологические сведения

1.1. Волжская сланценосная толща (верхняя юра, зона Panderi)

Общая характеристика верхнеюрских отложений. Верхнеюрские отложения РП накапливались в крупном мелководном морском бассейне, возникшем в результате келловейских трансгрессий на месте ранне-среднеюрской озерно-аллювиальной равнины [Герасимов и др., 1962; Сазонова, Сазонов, 1967]. Субмеридиональная ориентация водоема и фаунистические признаки экотональной зоны [Захаров, 2005] позволяют считать его морем-проливом, соединявшим океанические бассейны Тетис и Полярно-Арктический (Южно-Анжуйский?). Развитие этого водоема, известного как Среднерусское море [Сазонова, Сазонов, 1967], завершилось обмелением к концу волжского времени. В работах [Герасимов и др., 1962; Сазонова, Сазонов, 1967] средне-позднеюрский морской этап развития РП связывается с региональными тектоническими причинами. Однако современными исследователями эти крупные трансгрессивно-регрессивные события рассматриваются как следствия эвстатических колебаний уровня моря [Sahagian et al., 1996 и др.]. Предполагается, что на фоне общего тренда проявлялись менее масштабные флуктуации трансгрессивно-регрессивного режима.

Для верхнеюрских отложений характерны небольшая мощность (первые сотни м), невыдержанное распространение стратиграфических подразделений, обилие перерывов разного масштаба и длительности, резкая смена гранулометрических типов отложений по разрезу и площади за счет явлений размыва и конденсации. Сложены верхнеюрские отложения не только терригенным материалом – заметная роль в них принадлежит автохтонным осадочным компонентам: биогенными остаткам (карбонатным и, в меньшей степени, кремнистым), а также аутигенным минеральным новообразованиям, приобретающим породообразующее значение на отдельных стратиграфических интервалах.

Стратиграфия и распространение обогащенных ОВ отложений. Специфической особенностью верхнеюрских толщ РП является широкое распространение в них обогащенных ОВ отложений. В «классических» разрезах центральных районов России установлено много маломощных (0,1–0,5 м) углеродистых горизонтов локального распространения: верхнеоксфордский [Средний..., 1989; Бушнев и др., 2006]; нижнекимериджский [Hantzpergue et al., 1998], верхнекимериджский (собственные данные), нижневолжский [Дзюба и др., 2005], берриасский [Брадучан и др., 1989; Hantzpergue et al., 1998 и др.]. Но среди них волжская сланценосная толща занимает особое положение, будучи наиболее мощной и распространенной на огромной территории. В других районах Северного полушария в поздней юре – начале раннего мела также формировались высокоуглеродистые толщи (в т.ч. нефтеносные), распространенные на огромной территории – Кимериджские глины Англии; формация Хеккинген Норвежского и Баренцева морей; баженовская свита Западной

Сибири. Формирование сланценосной толщи на РП, таким образом, можно оценивать как региональное проявление событий, имевших субглобальный характер.

Средневожские «горючие» сланцы распространены на востоке РП [Атлас... Виноградов, 1964; Сазонова, Сазонов, 1967, Thiery, 2000 и др.]. В ее южной части они протягиваются непрерывной полосой из междуречья Волги и Урала в Среднее Поволжье (Североприкаспийский, Общесыртовский и Средневожский сланценосные р-ны). Они накапливались на территории Прикаспийского и Ульяновско-Саратовского прогибов, которые являлись стабильными депоцентрами морской седиментации в позднеюрское время. Южнее (Северный Каспий и Приаралье) сланцы замещаются низкоуглеродистыми отложениями – битуминозными доломитами и известняками [Манцурова, 2009; Пронин, 2009 и др.]. В северной половине РП вожские сланценосные отложения установлены в Костромской обл. (Мантуровский сланценосный р-н), на юге Республики Коми (Сысольский и Яренгский сланценосные р-ны) и в Кировской обл. (Волго-Вятский сланценосный р-н). В палеотектоническом отношении они распространены на территории Московско-Мезенской синеклизы, в поздней юре характеризовавшейся малыми аплитудами прогибания [Хаин, 1977 и др.]. Севернее вожские углеродистые отложения установлены в Печорской синеклизе [Горючие сланцы..., 1989 и др.], широко развиты в Баренцевом и Норвежском морях [Гавшин, Захаров 1991; Langrock et al., 2003 и др.].

Стратиграфический интервал с многочисленными прослоями углеродистых сланцев первоначально относился к аммонитовой зоне *Perisphinctes panderi* нижневожского яруса [Розанов, 1913; 1927], однако при уточнении биостратиграфической схемы [Иловайский, Флоренский, 1941; Сазонов, 1953, 1957; 1961; Михайлов 1957; 1962; Герасимов, Михайлов, 1966 и др.] эта зона получила современное название *Dorsoplanites panderi* и была помещена в основание средневожского подъяруса. В последние годы зональная схема расчленения вожского яруса была существенно детализирована путем введения фаунистических горизонтов, фиксирующих интервалы распространения бореальных или тетических аммонитов [Рогов, 2002; 2004, 2005]. В частности, зона *Panderi* была подразделена по фауне субтетических аммонитов *Zaraiskites* на 4 горизонта (снизу вверх): *Z. quenstedti*, *Z. scythicus*, *Z. regularis*, *Z. zarajskensis* и сопоставлена с верхним титоном Тетиса.

История изучения сланценосной толщи. Первые предположения об условиях образования вожских углеродистых сланцев были высказаны А.Н. Розановым, Н.Г. Кассиным, М.Д. Залесским. Причины их формирования рассматривались с точки зрения противоположных концепций, конкурирующих друг с другом и в настоящее время – о высокой биопродуктивности водоема [Залесский, 1928] и о необходимости возникновения бескислородных условий в водной толще [Розанов, 1927; Кассин, 1928]. Н.М. Страховым (1934) были заложены представления о едином генезисе вожских углеродистых сланцев на всей территории РП, установлены наиболее характерные их особенности – высокая насыщенность остатками бентосной фауны и специфический, обогащенный водородом, азотом и серой состав ОВ; предложена модель «подводных лугов», связывающая формирование сланцев

с усиленным накоплением в осадках остатков биомассы бентосных водорослей и аквафильных высших растений (типа *Zostera*) в палеоводоеме с нормальной соленостью и нормальным газовым режимом. После исследований Н.М. Страхова, в 1940–80-е гг. изучение сланценосной толщи сосредоточилось в наиболее перспективных сланценосных районах, где было ориентировано, в основном, на решение поисково-разведочных и технологических задач. Опубликованные данные позволяют судить о региональных особенностях строения сланценосной толщи и литологическом разнообразии слагающих ее отложений. В 1980–90-е гг. отдельные аспекты обстановки формирования волжских горючих сланцев РП обсуждались многими исследователями [Хрусталева, Гонцов, 1980; Романович, 1981; Гинзбург и др., 1986; Букина, 1988; Туров, 1989 и др.]. Для объяснения причин возрастания биомассы в палеобассейне и высоких темпов ее захоронения привлекались экологические аномалии, в качестве причины которых наиболее часто предполагалось опреснение палеоводоема, а в качестве следствий – явления массовой гибели («заморы») морских организмов или вспышки продуктивности атипичных водорослей. В 1990–2000-е гг. были высказаны первые предположения о возможной связи обстановок накопления ОВ с надрегиональными факторами – эвстатическими колебаниями уровня моря [Львов, 1996] и климатическими изменениями [Ruffell et al., 2002; Riboulleau et al., 2003]. В последние годы получены результаты изучения ОВ волжских углеродистых сланцев прецизионными методами, которые интерпретировались по-разному: и как свидетельства высокой биопродуктивности волжского водоема [Riboulleau et al, 2001; 2003], и как следствия существования в нем сероводородного заражения [Бурдельная, 2006 и др.; Бушнев, Бурдельная, 2008 и др.].

1.2. Аптский битуминозный горизонт

Общая характеристика нижнемеловых отложений. Аптские отложения соответствуют «среднемеловому» морскому этапу развития РП, который начался с мощной трансгрессии, затопившей практически всю ее территорию. Ему предшествовал раннеготеривский перерыв [Барабошкин, 2001] – палеогеографический рубеж, связанный со значительными изменениями в характере морской седиментации. В то время как отложения поздней юры – начала нижнего мела характеризуются смешанным карбонатно-терригенным составом, вышележащие верхнеготеривские, барремские и аптские породы по составу почти исключительно терригенные. Среднемеловые морские бассейны с подобным характером седиментации просуществовали до осушения территории РП в середине позднего апта [Барабошкин, 2001]. В водоемах этого времени условия для интенсивного накопления ОВ практически не возникали, и раннеаптский эпизод, связанный с образованием горизонта битуминозных сланцев в Среднем и Нижнем Поволжье, является единственным.

Стратиграфия и распространение обогащенных ОВ отложений. Горизонт аптских битуминозных сланцев (3,8–10 м) протягивается от Окско-Цнинского вала на севере до широты г. Саратова на юге. Внутри него находится уровень известковых конкреций, местами сливающихся в единый пласт («аптская плита») [Архангельский,

1923; Сазонов, Сазонова, 1967; Герасимов и др. 1962], который прослеживается почти непрерывно вдоль р. Волги от г. Ульяновска до г. Саратова и является хорошим маркирующим горизонтом при картировании. Е.Ю. Барабошкиным (2001) предложена палеогеографическая схема для аптского века, составленная с учетом новых данных о распространении фаций. Границы распространения углеродистых отложений в пределах морского палеобассейна РП на этой схеме согласуются с данными [Сазонова, Сазонов, 1967].

До 1990-х гг. толща битуминозных сланцев относилась к аммонитовой зоне *Deshayesites deshayesi* [Сазонова, Сазонов, 1967; Стратиграфия СССР..., 1986-1987]. Впоследствии биостратиграфия этого интервала была пересмотрена [Михайлова, Барабошкин, 2001] и в настоящее время он определяется как соответствующий аммонитовой зоне *Deshayesites volgensis* = *Deshayesites forbesi* [Casey, 1961]. Это позволяет сопоставлять его с глобальным событием ОАЕ-1а (*Deshayesites forbesi/deshayesi*), к которому приурочено формирование обогащенных ОВ отложений в эпиконтинентальных морских бассейнах Северной Германии [Mutterlose, Böckel, 1998], а также в Италии, Испании и в Тихом океане [Arthur et al., 1988 и др.].

Глава 2. Седиментологическая и литолого-геохимическая характеристика углеродистых толщ

2.1. Волжская сланценосная толща

Для выяснения закономерностей развития обширного волжского бассейна было проведено детальное изучение разрезов сланценосной толщи из разных его частей.

Разрез у д. Городище (правый берег р. Волги в 25 км севернее г. Ульяновска) характеризует строение верхнеюрских отложений в центральной части РП. Описание разреза приводилось во многих работах [Герасимов, Михайлов, 1966; Даин, Кузнецова, 1976, Вишневская, Барабошкин, 2001; Кулева и др., 2004 и др.], поскольку он является стратотипом волжского региояруса, однако имеются значительные расхождения в оценках разными авторами количества сланцевых пластов, их мощности и распределения. *Разрез у д. Ивкино* (р. Унжа, правый приток р. Волги) изучен в Костромской обл., где волжские сланценосные отложения известны более ста лет, однако данные о строении конкретных разрезов до начала наших исследований [Щепетова, 2005; Гаврилов и др., 2008] отсутствовали.

На севере РП исследованы естественные выходы сланценосной толщи – *разрезы Важью* и *Койгородок* в бассейне р. Сысолы (юг Республики Коми), *разрез Синегорье* по р. Кобре (Кировская обл.). Палеогеографически район соответствует Сысольской котловине – подводной депрессии, существовавшей в северной части Среднерусского моря [Льнуров, 1996]. Изученные разрезы вскрывают небольшие фрагменты (до нескольких м) сланценосной толщи, относящиеся к ее разным литостратиграфическим пачкам [Васильева и др. 1989, Льнуров, 1996].

В юго-восточной части РП поля развития сланценосной толщи установлены бурением на левобережье р. Волги в Самарской и Саратовской обл. [Явхута, 1973, Жмур и др., 1983, Кулева и др., 2004]. *Разрез скв. 559* (Перелюбский р-н Саратов-

ской области), вскрывает сланценосную толщу вместе с небольшими фрагментами подстилающих и перекрывающих отложений.

По результатам изучения опорных, а также целого ряда других разрезов выяснено, что мощность сланценосной толщи непостоянна и изменяется от первых м в центральных районах РП до нескольких десятков м на юго- и северо-востоке. Пласты сланцев редко прослеживаются в латеральном направлении на значительные расстояния (более первых десятков км), их количество в толще непостоянно. Нередко наблюдается замещение сланценосной толщи по латерали конденсированными разрезами – фосфоритовыми горизонтами, ракушечниками (известковыми и кремнистыми), глауконитовыми песчаниками.

В изученных районах сланценосная толща обычно со значительным перерывом залегает на нижележащих юрских отложениях, в ее основании присутствуют мало-мощные (первые дм) слои фосфоритовых конгломератов. Стратиграфический переход без видимых признаков перерыва толщи кимериджских и ранневожских тонкодисперсных известково-глинистых отложений (до нескольких десятков м) к средневожской сланценосной толще наблюдается только в северной части Ульяновско-Саратовского прогиба (разрез Городище).

Изучение верхнеюрских глинистых толщ показало, что характерной чертой их строения является мелкая цикличность, выраженная чередованием темных серых и заметно более светлых слоев (от первых дм до 1 м). Петрографическими и геохимическими методами установлено, что различия в окраске пород обусловлены колебаниями содержания в них биогенного карбонатного материала, представленного остатками известкового наннопланктона, и рассеянного тонокодисперсного ОВ. На разных стратиграфических интервалах цикличность проявляется с разной отчетливостью: выделяются более или менее ясно выраженные горизонтально-слоистые пачки (до нескольких м) и разделяющие их монотонные интервалы (первые м); последние, как правило, слагаются светлыми высококарбонатными разностями отложений. Чередование слоистых и более массивных пачек свидетельствует о проявлении цикличности более высокого ранга. Эти циклиты разного порядка, по-видимому, являются отражением астрономических циклов Миланковича.

Строение сланценосной толщи и литолого-геохимическая характеристика отложений. В изученных разрезах сланценосная толща устанавливается по отчетливо выраженной слоистой структуре, обусловленной чередованием пластов (толщиной от первых дм до 1 м, иногда и более) темно-коричневых углеродистых сланцев и более светлых известково-глинистых пород.

Углеродистые сланцы (5,80–24,40% $C_{\text{орг}}$; 4,5–20% $CaCO_3$) во всех разрезах характеризуются отчетливо выраженной ламинарной текстурой, свидетельствующей об отсутствии значительной биотурбации первоначальных углеродистых осадков и неблагоприятных условиях для обитания зарывающихся организмов, в отличие от вмещающих глинистых отложений. В то же время петрографические исследования показывают, что горизонтальная ориентировка осадочных компонентов редко бы-

вадет настолько выдержанной, чтобы полностью исключить процессы биотурбации в углеродистых осадках. Кроме того, характерной особенностью углеродистых сланцев является частое присутствие в них остатков фауны, образующих скопления вдоль отдельных поверхностей напластования: сплюснутых раковин не крупных (в том числе ювенильных) аммонитов, двустворчатых моллюсков, гастропод; встречается раковинный детрит различной размерности. На тех же плоскостях, как правило, наблюдаются многочисленные мелкие ходы зарывающихся организмов *Chondrites* и одиночные субгоризонтально ориентированные ходы *Planolites*. По содержанию $C_{орг}$ и текстурным особенностям сланцы подразделяются на темно-коричневые тонколистоватые, интенсивно обогащенные ОВ (15,8–24,4% $C_{орг}$) и несколько более светлые, менее углеродистые (5,8–13,6% $C_{орг}$), плитчатые; последние преобладают в составе сланценовой толщи. Скопления раковин и следы инфауны чаще присутствуют в относительно низкоуглеродистых сланцах, в то время как высокоуглеродистые разности обычно лишены раковинного материала, либо содержат редкие отпечатки мелких раковин, в значительной степени растворенных.

Известково-глинистые отложения, чередующиеся со сланцами, неоднородны по содержанию $C_{орг}$ и литологическим признакам. Среди них выделяются светло-серые известково-глинистые породы с незначительным содержанием ОВ (<1–2% $C_{орг}$) и темно-серые, в которых ОВ присутствует в более заметном количестве (1,5–3,5% $C_{орг}$). *Светло-серые породы* практически нацело гомогенизированы биотурбацией и имеют массивный облик. Повышенная карбонатность в них (25–60% $CaCO_3$) связана, в основном, с остатками известкового наннопланктона. В них также присутствует обильный мелкий биогенный детрит (фрагменты различных раковин и скелета иглокожих), что существенно отличает их углеродистых сланцев. Деинтеграция остатков фауны, по-видимому, была биогенная и осуществлялась более крупными морскими организмами. На отдельных интервалах биогенный кальцит в светло-серых породах перекристаллизовывался и перераспределялся в пределах слоя с образованием крупных конкреций. В *темно-серых породах* биогенного карбонатного материала в среднем меньше (2,16–43,81% $CaCO_3$), остатки фауны в них отсортированы хуже – вместе с мелким детритом встречаются целые раковины моллюсков и их крупные фрагменты. Породы заметно обогащены (до 20–50%) алевритовым и мелкозернистым песчаным материалом, представленным угловатыми зернами кварца и глауконита. В заметном количестве в них присутствует аутигенный пирит в виде мельчайших фрамбоэдров и их агрегатов; остатки фауны обычно пиритизированы. Отложения этого типа менее интенсивно биотурбированы и в них сохраняются фрагменты седиментогенной тонкой слоистости, связанной с неравномерным распределением ОВ и карбонатного материала.

Детальное изучение структуры сланценовой толщи показало, что наиболее характерной ее чертой является *цикличность* (рис. 2). Элементарный циклит (до 1 м) характеризуется контрастным содержанием $C_{орг}$ и $CaCO_3$ в слагающих его пластах. В наиболее полном виде он состоит из трех элементов. Нижний – представлен углеродистыми сланцами, верхний – светло-серыми глинисто-карбонатными отложения-

ми, обогащенными CaCO_3 и практически не содержащими ОВ; темно-серые породы среднего слоя имеют переходные характеристики между углеродистыми сланцами и карбонатными глинами. Границами циклитов являются подошвы сланцевых пластов – резкие и отчетливые, тогда как внутри циклитов переходы между пластами постепенные. Цикличность сланценосной толщи прослеживается во всех разрезах и по своему масштабу, а также характеру распределения ОВ и CaCO_3 близко напоминает мелкоциклическую структуру вмещающих верхнеюрских глинистых толщ, однако геохимическая контрастность циклитов существенно усилена высокими концентрациями ОВ в отложениях, слагающих нижние элементы циклитов.

В структуре сланценосной толщи устанавливаются многочисленные *следы седиментационных перерывов*, которые часто сопровождались размывом ранее накопившихся осадков. Это приводило к концентрации на разных уровнях крупных компонентов осадка (раковин аммонитов, ростров белемнитов, скоплений створок раковин и их фрагментов, фосфоритовой гальки), т.е. к образованию горизонтов конденсации [Фролов, 1984; Барабошкин и др., 2002]. Вновь выведенные на поверхность дна отложения (до некоторой степени уплотненные, хотя все еще пластичные) подвергались переработке зарывающимися организмами, в результате чего формировались поверхности типа «softground» [Bromley, 1996]. Наиболее отчетливо выраженная циклическая структура сланценосной толщи наблюдается в *разрезе Ивкино*. Отложения здесь слагаются гранулометрически наиболее тонкими фракциями (количество алевритовой примеси незначительно). Признаки размыва и конденсации отложений проявлены слабо, к ним могут быть отнесены лишь единичные уровни, вдоль которых встречаются мелкие ростры белемнитов. В разрезе выделяется 17 циклитов. Эта область седиментации соответствовала относительно глубоководным (50–100 м) частям водоема, и накапливавшиеся здесь отложения находились преимущественно вне зоны активных течений и ниже базиса волновой, в т.ч. штормовой эрозии. Разрезы волжского яруса в Среднем Поволжье – *Городище и Кашир* – являются в значительной степени конденсированными и не в полной мере отражают осадочную историю формирования сланценосной толщи. Этот тип разрезов формировался в более мелководной обстановке с дискретным режимом седиментации: дно бассейна периодически находилось в зоне воздействия на осадки штормов и придонных течений (~20–50 м).

В изученных разрезах сланценосной толщи выделяются различные по строению и составу отложений пачки: в нижней ее части доминируют тонкопелитовые породы, существенно обогащенные остатками известкового наннопланктона, а в верхней присутствуют более грубозернистые – песчаные и алевритовые разности. В составе последних заметно возрастает концентрация биокластического карбонатного материала, представленного обломками и целыми раковинами моллюсков, известных своей широкой толерантностью по отношению к условиям обитания (иноцерамиды, бухии, белемниты). Такие изменения прослеживаются и в верхах сланценосной толщи, развитой в центральных районах РП, и в Сысольской впадине. В верхней части (~1 м) разреза Ивкино установлено практически полное исчезновение остатков извест-

кового наннопланктона в глинистых породах, что происходит одновременно с увеличением в них содержания $C_{\text{орг}}$ до нескольких процентов. Близкая картина наблюдается и в верхней части (~1 м) сланценосной толщи *разреза Городище*; бескарбонатные глины, лишенные остатков наннопланктона, залегают в верхних горизонтах сланценосной толщи Саратовского Заволжья (*разрез скв. 559*). Эти признаки свидетельствуют об уменьшении глубины водоема и накоплении осадков в зоне с более активным гидродинамическим режимом (15–20 м). Возможно также, что циклический тип отложений, обогащенных остатками известкового наннопланктона (т.н. «среднерусский»), формировался, в относительно более теплых климатических условиях, в то время как второй (т.н. «суббаженский») тип отложений – в условиях относительно более прохладного и более влажного климата.

Закономерности распределения глинистых минералов в сланценосных и вмещающих отложениях. Верхнеюрские отложения в разрезах Среднего Поволжья (*Городище, Кашир*) в последние годы неоднократно становились объектами палеоклиматологических исследований, проводившихся разными методами, в том числе анализировалось распределение глинистых минералов [Ruffell et al., 2002; Riboulleau et al., 2003]. На основании уменьшения каолинита и одновременного увеличения содержания минералов группы смектита в средневожских отложениях, было выдвинуто предположение о потеплении и аридизации климата во время накопления сланценосной толщи. Дополнительным аргументом в пользу аридизации привлекалось спорадическое присутствие в глинистой фракции палыгорскита [Ruffell et al., 2002; Riboulleau et al., 2003].

Для проверки этого предположения проводилось изучение глинистой фракции (<0,001 мм) методом рентгенофазового анализа. В *разрезе Городище* выявлены 4 последовательно сменяющиеся снизу вверх минеральные ассоциации: 1) смектит-иллит-каолинитовая (низкосмектитовая) с близким содержанием минеральных фаз, иногда с некоторым преобладанием каолинита; 2) иллит-каолинит смектитовая, с преобладанием смектита; 3) иллит-каолинит-смектитовая с примесью клиноптилолита; 4) иллит-клиноптилолит-смектитовая (наиболее высокосмектитовая, в которой каолинит утрачивает значение). Наблюдается связь высокосмектитовых ассоциаций 3 с остатками кремневых организмов (радиоляриями), распространенными в верхней половине сланценосной толщи в рассеянном состоянии и в виде массовых скоплений. Кремнистое вещество в них, как правило, не сохраняется, и они бывают выполнены тонкодисперсными глинистыми агрегатами глауконитоподобного облика, близкими по оптическим свойствам смектитам. Следовательно, распространение высокосмектитовых минеральных ассоциаций, включающих клиноптилолит, в отложениях сланценосной толщи могло быть связано с процессами аутигенного минералообразования (т.е. с особенностями фациальной обстановки). Сходная связь между возрастанием смектита в глинистой фракции и остатками кремневой фауны в сланценосных отложениях наблюдается в Сысольской впадины (*разрезы Важью и Койгородок*). В то же время характерной особенностью отложений *разреза Ивкино*,

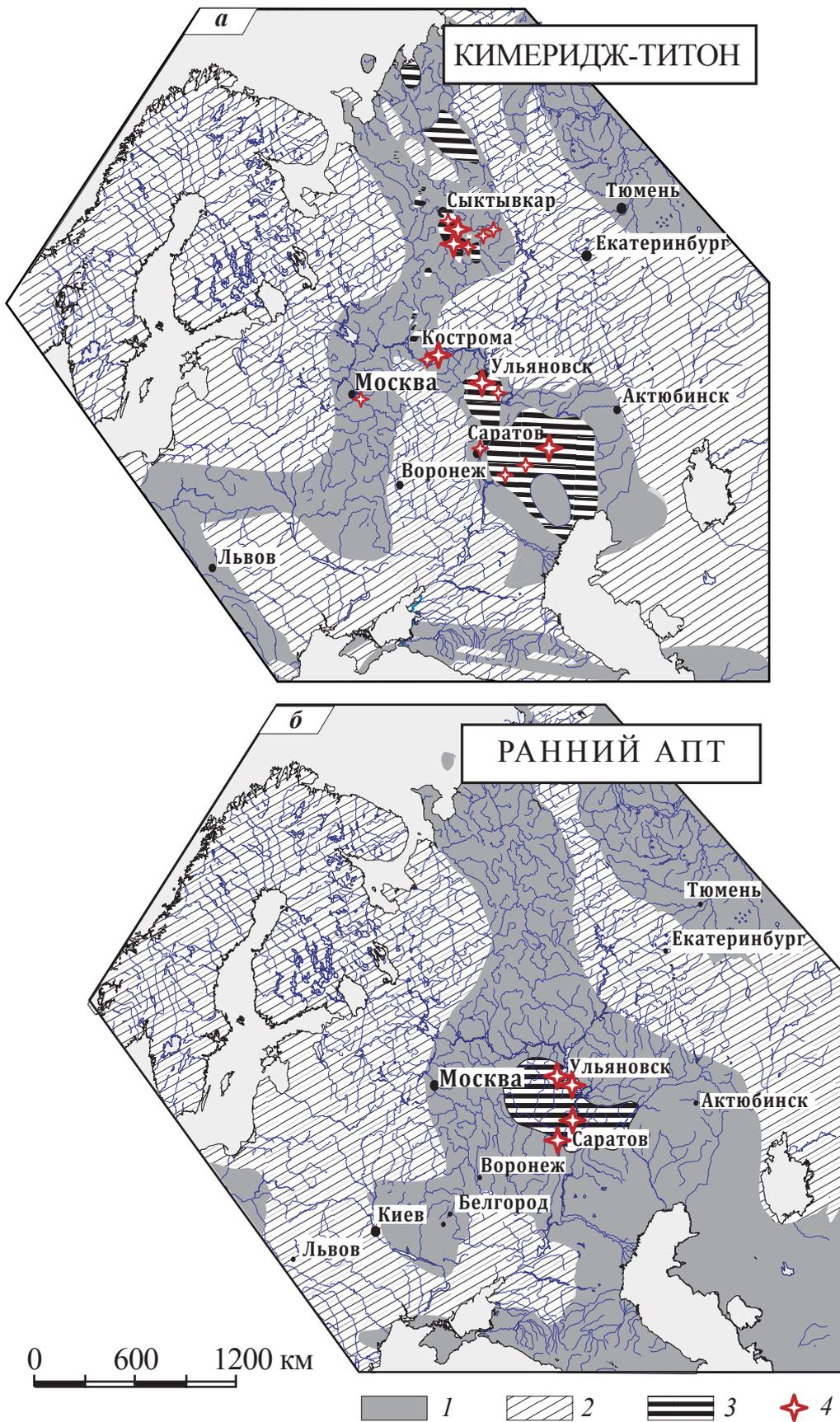


Рис. 1. Палеогеографическая схема Русской плиты: а) в кимеридже-титоне (по Герасимов и др., 1962; Атлас..., 1964 и др.) б) в раннем апте (по Е.Ю. Барабошкину (2001), Гаврилову и др., 2002) и распространение средневожской сланценой толщи и аптского битуминозного горизонта. Условные обозначения: 1 - море; 2 - суша; 3 - углеродистые толщи; 4 - положение изученных разрезов.

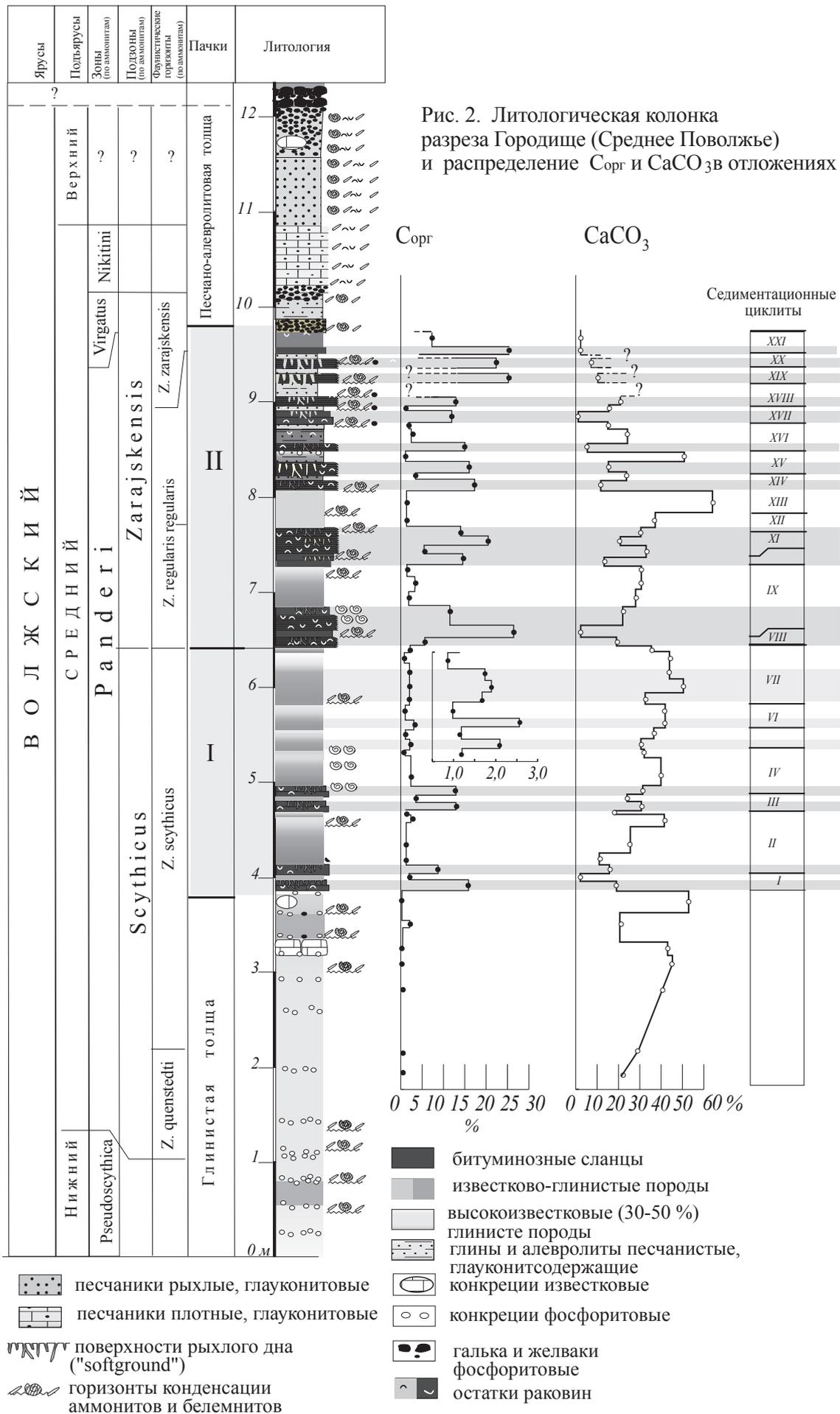


Рис. 2. Литологическая колонка разреза Городище (Среднее Поволжье) и распределение C_{org} и $CaCO_3$ в отложениях

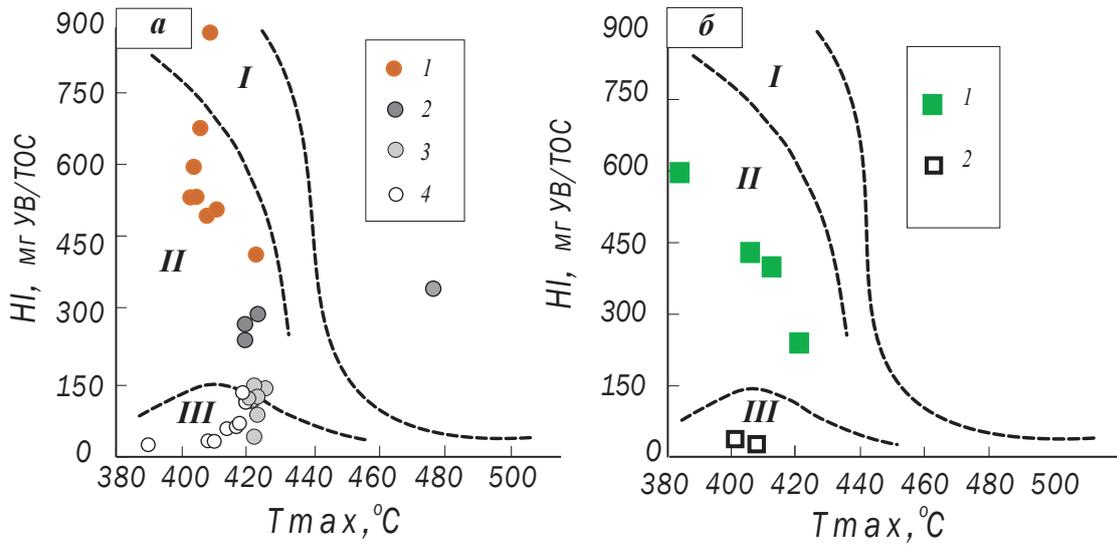


Рис. 4. Пиролитические параметры и типы керогена на диаграмме Ван-Кревелена
 а) в отложениях средневожской сланценовой толщи (разрез *Городище*):
 I- углеродистые сланцы; 2-3 известково-глинистые породы (2- темно-серые глины с повышенным содержанием ОВ; 3 - светло-серые высококарбонатные глины);
 4 - вмещающие кимериджские и нижневожские отложения;
 б) в отложениях аптского битуминозного горизонта (разрез в г. *Ульяновске*):
 I - углеродистые сланцы; 2 - вмещающие глины

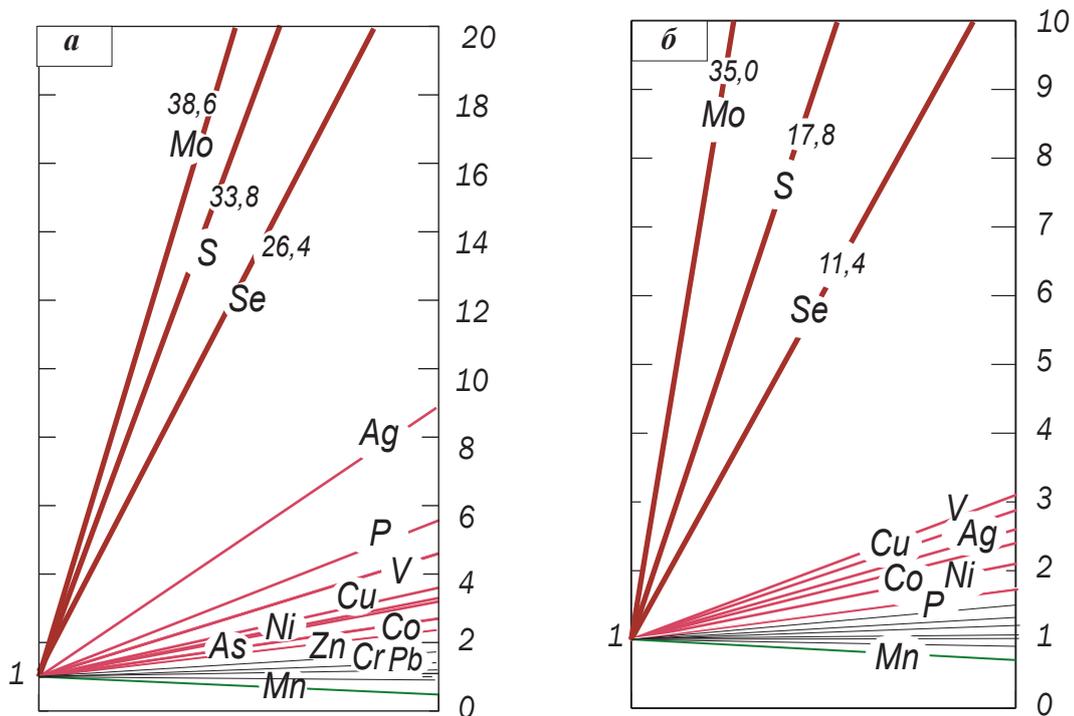


Рис. 5. Коэффициенты концентрации химических элементов
 а) в средневожских углеродистых сланцах (разрез *Городище*);
 б) в нижнеаптских битуминозных сланцах (разрез в г. *Ульяновске*).

не содержащих биогенных кремневых остатков, является постоянство соотношения основных компонентов (каолинита, иллита, смектита) в глинистой фракции [Гаврилов и др., 2008].

Пальгорскит, согласно [Ратеев, 1985; Ломова, 1986 и др.], широко распространен в палеозойских отложениях центральной и южной частей РП, часто находящихся в непосредственном контакте с верхнеюрскими отложениями [Сазонова, Сазонов, 1967 и др.], поэтому есть все основания связывать присутствие его следов на разных стратиграфических уровнях верхней юры с переотложением.

Таким образом, показано, что на формирование глинистых ассоциаций волжских сланценосных отложений влияли факторы, искажающие первоначальную «климатическую память»: а) раннедиагенетическое новообразование глинистых минералов; б) переотложение (рециклинг) глинистых минералов из древних осадочных толщ.

Органическое вещество в породах сланценосной толщи. *Петрографические исследования* показали, что в углеродистых сланцах присутствует, в основном, бесструктурное ОВ (до 90–99%), соответствующее коллоальгиниту (по терминологии А.И. Гинзбург, 1991). Коллоальгинит окрашен в различные оттенки желтого, оранжевого и светло-бурого цветов и обособляется в глинистом матриксе в виде тонких слоев или уплощенных линзочек (длиной до нескольких мм), располагающихся параллельно напластованию. Рост концентраций $C_{орг}$ в сланцах коррелируется с увеличением количества и размерности коллоальгинитовых сгустков, в отдельных случаях коллоальгинит присутствует в виде сплошной массы, практически полностью скрывающей минеральный матрикс.

Глинистый матрикс углеродистых сланцев бывает более или менее равномерно пропитан бесструктурным ОВ, по облику напоминающим коллоальгинит, но тонкодисперсным. Подобные агрегаты «глинистое вещество + ОВ», в которых глинистая составляющая существенно преобладает, относятся к «сорбомикстиниту» по [Гинзбург, 1991]. Увеличение доли сорбомикстинита по отношению к коллоальгиниту характерно для относительно низкоуглеродистых разновидностей сланцев.

В качестве примеси в составе ОВ средневожских углеродистых сланцев иногда присутствуют многочисленные остатки деформированных тонкостенных одноклеточных водорослей (до 10%), не поддающихся точным таксономическим определениям. В настоящее время они представлены светло-желтыми сферическими образованиями, смятыми или надорванными, а также их отдельными фрагментами. По морфологическим признакам эти компоненты относятся к таллломальгиниту [Гинзбург, 1991] или ламальгиниту [Tyson, 1995]. В виде незначительной примеси (до 1–5%) в ОВ сланцев содержатся спороморфные остатки, представленные цистами динофлагеллят, спорами и пылью наземных растений (определения Г.А. Александровой); присутствует примесь (до 5–10% ОВ) мелких темных обрывков наземной растительности (инертинит). Количество наземного фитодетрита наиболее высокое в углеродистых сланцах со значительным содержанием алевритовой примеси.

Во вмещающих известково-глинистых породах ОВ присутствует, как правило, в тонкодисперсном виде. В них наблюдается отрицательная корреляция между содержанием ОВ и биогенного CaCO_3 . Коллоальгинит и сорбомикстинит иногда встречаются в качестве примеси, главным образом, в составе реликтов первоначально углеродистых слоев, разрушенных при биотурбации. Содержание растительного детрита в глинистых отложениях незначительно, но поскольку другие органические остатки в них не сохранялись (или не накапливались) именно ОВ этого типа становится доминирующим и в значительной мере определяет пиролитические показатели.

При *пиролитических исследованиях* наиболее типичных углеродистых сланцев и глинистых отложений из разных разрезов установлено, что для ОВ, в целом характерны невысокие температуры извлечения углеводородов ($T_{\max} < 435^\circ\text{C}$), свидетельствующие о низкой степени его термической (катагенетической) зрелости. Это позволяет считать, что геохимические параметры ОВ были сформированы, в основном, на стадиях седиментации и диагенеза. Незначительное увеличение T_{\max} отмечается в единичных образцах и связано с присутствием инертинита, переотложенного из более древних пород, преобразованных на предшествующих этапах захоронения.

Генерационный потенциал волжских углеродистых сланцев оценивается как высокий (32,86–159,6 УВ/г), в то время как для известково-глинистых пород характерны его низкие значения (0,40–2,82 УВ/г).

Величины ТОС (total organic carbon) и $C_{\text{орг}}$, которые определялись различными методами в образцах, отобранных из одних и тех же слоев, сходны в глинистых породах и в наиболее высокоуглеродистых сланцах. В то же время в известковистых и глинисто-алевритистых сланцах с относительно невысоким содержанием $C_{\text{орг}}$ отмечаются расхождения, которые могут быть связаны как с разными возможностями аналитических методов, так и с неоднородным послойным распределением в этих породах коллоальгинита.

Значения водородного индекса ($\text{HI}=402\text{--}874$) керогена углеродистых сланцев указывают на его преимущественно морское происхождение [Тиссо, Вельте, 1981]. В целом кероген волжских сланцев принадлежит к керогену I–II типа (рис. 4, а). Его источником служила, в основном, биомасса морского планктона; он характеризуется хорошей сохранностью углеводородной части первичного ОВ, несмотря на имевшие место процессы окислительной биохимической деструкции.

В известково-глинистых отложениях установлены гораздо более низкие значения HI (17–302). Наименьшие из них характерны для пород с $C_{\text{орг}} < 3\%$, не содержащих коллоальгинита, и обусловлены присутствием существенно преобразованной органики и, в ряде случаев, тонкорассеянного аллохтонного фитодетрита (инертинита). В глинистых отложениях, содержащих в качестве примеси мелкие фрагменты коллоальгинита или сорбомикстинита, HI повышается (до 117–302). Эти данные подтверждают закономерность, установленную в других районах: с ростом содержания ОВ величина HI пропорционально увеличивается.

2.2. Аптский битуминозный горизонт

Строение битуминозного горизонта и литолого-геохимическая характеристика отложений. Горизонт аптских «битуминозных сланцев» (3,8–10 м) изучен по профилю, пересекающему современное поле их развития (рис. 3) – от г. Ульяновска до г. Саратова. Были исследованы наиболее полные разрезы: в обрывах правого берега р. Волги в гг. Ульяновске и Сенгилее, севернее г. Хвалынска у д. Федоровка (*разрез Федоровский створ*), а также на северной окраине г. Саратова в карьерах кирпичного завода (*разрез Гуселка*).

В нижнеаптских отложениях горизонт битуминозных сланцев установлен по комплексу характерных седиментологических признаков. Нижняя его граница резкая, с признаками размыва, верхняя граница – постепенная, но фиксируется вполне отчетливо. Максимальная мощность битуминозного горизонта наблюдалась у г. Хвалынска (*разрез Федоровский створ*), в южном и северном направлениях она уменьшается. При движении на юг, по направлению к г. Саратову, битуминозные отложения обогащаются алевритовым и песчаным материалом и выклиниваются в зоне накопления прибрежных осадков. При движении на север, к гг. Ульяновску и Сенгилею, они становятся все более тонкозернистыми («пелагическими»).

В северной части Ульяновско-Саратовского прогиба (*разрезы у гг. Ульяновска и Сенгилея*) битуминозный горизонт (3,4–4,5 м) сложен тонколистоватыми углеродистыми сланцами (3,6–8,0% $C_{орг}$). На свежем сколе эти породы темно-оливковые, с отчетливо выраженной тонкой горизонтальной слоистостью (слойки 1–5 мм), которая обусловлена различиями в распределении органического, известкового и терригенного материала. На плоскостях напластования сланцев обнаруживаются скопления расплюснутых раковин аммонитов, фосфатный детрит ихтиофауны; отдельные поверхности устланы многочисленными эмбриональными раковинами аммонитов. Остатки бентосной фауны встречаются в битуминозных сланцах крайне редко и представлены мелкими раковинами экологически толерантных двустворчатых моллюсков *Nuculana*, *Symbula*, *Neosomiceramus* (определения Е.Ю. Барабошкина).

Нижнеаптские отложения, подстилающие битуминозный горизонт, в *разрезе у г. Ульяновска*, представлены толщей (~9,5 м) темно-серых глин, неслоистых, биотурбированных (зона *Deshayesites tenuicostatus*). Внутри глин встречаются прослои (до 0,15 м) сцементированных пиритом алевролитов, а также уровни с мелкими карбонатными конкрециями (длиной до 10–15 см). Остатки фауны в глинах редки, аммониты, по данным Е.Ю. Барабошкина, представлены бореальными видами [Гаврилов и др., 2002].

Над битуминозными сланцами залегает пачка (видимая мощн. 3,5 м) темно-серых однородных, интенсивно биотурбированных глин. Также как и битуминозный горизонт, эта пачка относится к зоне *Volgensis*, однако в этой части разреза впервые появляются тетические виды аммонитов [Гаврилов и др., 2002]. Залегающие выше глинистые отложения зоны *Deshayesites deshayesi* – *Ancyloceras matheronianum* содержат комплекс тетических аммонитов, близкий установленному в отложениях одноимен-

ной зоны Туркмении, Северного Кавказа, Англии, Германии и Франции, что указывает на установление широкого морского сообщения между бассейнами РП и Тетиса.

В южной части Ульяновско-Саратовского прогиба (*разрез Федоровский створ*) битуминозный горизонт сложен толсто плитчатыми коричневато-серыми углеродистыми породами с характерной тонкой горизонтальной слоистостью, обогащенными алевритовым материалом (слойки до 1 мм). По окраске они значительно светлее углеродистых сланцев в разрезах у г.г. Ульяновска и Сенгиля, однако $C_{орг}$ в них находится примерно на том же уровне. Здесь аптские отложения, подстилающие битуминозный горизонт, представлены темно-серыми алевритистыми глинами (видимая мощн. ~10 м), включающими прослойки рыхлых алевролитов (до 0,1 м) и уровни с редкими мелкими карбонатными конкрециями. Перекрываются сланцы алевритовыми глинами с прослоями (до 0,25 м) косослоистых тонкозернистых песчаников (видимая мощн. ~7,5 м, зона Deshayesi).

Литолого-петрографические исследования показали, что аптские отложения, вмещающие битуминозный горизонт, сложены в основном *терригенным материалом*, в котором существенно преобладают пелитовые фракции. Алевритовый и песчаный материал присутствует в виде равномерной примеси или образует маломощные (первые дм) прослойки. В составе алевритовых и песчаных фракций существенно преобладает кварц и различные слюды, в меньших количествах присутствуют полевые шпаты; в качестве акцессорных минералов – эпидот и гранат.

Минеральный парагенез глинистой фракции остается постоянным в изученных отложениях и не изменяется в углеродистых породах битуминозного горизонта. По данным рентгено-дифрактометрических исследований (19 обр.), в составе фракции <0,001 мм основными компонентами являются смектиты и смешанослойные иллит-смектиты (20–40% слоев слюдистого типа), каолинит и иллит, в подчиненном количестве всегда присутствует хлорит. По соотношению интенсивности рефлексов хлорита – 3,53 Å и каолинита – 3,57 Å можно судить о тенденции некоторого увеличения содержания каолинита внутри горизонта битуминозных сланцев по сравнению с вмещающими отложениями.

Содержание *карбонатного материала* в аптских глинистых отложениях, вмещающих битуминозный горизонт (разрезы у г.г. Ульяновска и Сенгиля, Федоровский створ), а также в глинах прибрежных зон (разрез Гуселка), как правило, не превышает десятых долей процента (см. рис. 3). Однако в битуминозных сланцах $CaCO_3$ резко возрастает (до 20%) и связан с остатками известкового наннопланктона (определения Е.А. Щербининой), обогащающего нижнюю часть битуминозного горизонта.

Органическое вещество аптских отложений. *Петрографические данные* показывают, что ОВ постоянно присутствует в аптских отложениях. В глинах, вмещающих битуминозный горизонт, содержание $C_{орг}$ повышено до 1–2%, что обусловлено присутствием в них тонкорассеянного обугленного растительного детрита (5–20%). Количество и размерность наземной растительной органики существенно возрастают в присутствии алевритовых и песчаных фракций

В битуминозных сланцах содержание $C_{орг}$ резко увеличивается (до 4–9,6%, в среднем до 6–8%). ОВ в них присутствует в форме коллоальгинита (по терминологии [Гинзбург, 1991]), который образует в породе систему тонких, удлиненных вдоль слоистости линзочек. Помимо коллоальгинита отмечаются единичные остатки спор и пыльцы наземных растений. Растительный детрит постоянно присутствует в битуминозных сланцах, располагаясь параллельно слоистости. Его количество не превышает первых процентов в сланцах Ульяновска и Сенгиля и увеличивается до 10–20% в сланцах разреза Федоровский створ.

При *пиролитических исследованиях* установлено, что ОВ глинистых пород и битуминозных сланцев имеет низкую степень термической зрелости ($T_{max} < 430^{\circ}C$). Генерационный потенциал сланцев оценивается как высокий (40,37–93,07 мг УВ/г), для глиен характерны низкие значения (1,16 мг УВ/г). Водородный индекс битуминозных сланцев ($HI=406-609$) указывает на преимущественно морское происхождение ОВ [Tissot, Welte, 1984], источником которого служила, в основном, биомасса морского планктона. На модифицированной диаграмме Ван-Кревелена [Лопатин, Емец, 1987; Tyson, 1995] кероген сланцев попадает в область керогенов II типа (рис. 4, б) На этой диаграмме, точки, соответствующие вмещающим глинистым породам, находятся в области керогенов наземного происхождения, что хорошо согласуется с данными петрографических исследований.

Глава 3. Химические элементы в углеродистых толщах

В волжских и аптских отложениях было изучено распределение большой группы химических элементов – Si, Al, Ti, Fe, P, Mn, S, Cr, V, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Se, Ag, As. Оценка изменений в их поведении в обстановках с интенсивным накоплением ОВ основывалась на сравнении особенностей распределения этих элементов в отложениях, в контрастной степени обогащенных $C_{орг}$ – в углеродистых сланцах и вмещающих глинистых породах. Для устранения влияния флуктуаций содержания $CaCO_3$ и ОВ на распределение элементов, использовалось нормирование концентраций на содержание алюминия ($Эл/Al$). Подобный подход основан на тесной связи Al с терригенной составляющей и учитывает его инертность в процессах диагенетического перераспределения веществ в осадках. Аномалии в поведении химических элементов устанавливались по отклонению величины $Эл/Al$ соответствующего элемента от значения $Эл_{кл}/Al_{кл}$, рассчитанного как отношение величины среднего (кларкового) содержания каждого элемента к среднему (кларковому) содержанию Al глинистых породах по [Turekian, Wedepohl, 1961; Wedepohl, 1991]. Величина этого отношения рассматривалась как коэффициент накопления (K_n), характеризующий интенсивность концентрирования химических элементов в результате внутрибассейновых геохимических процессов. В качестве значимого принимался K_n в 2–5 и более.

3.1. Химические элементы в отложениях волжской сланценосной толщи

Распределение элементов в верхнеюрских известково-глинистых отложениях («геохимический фон»). Для характеристики «геохимического фона» изучались: а) кимериджские и нижневолжские известково-глинистые отложения (0,22–2,14% $C_{орг}$), подстилающие сланценосную толщу (разрезы Городище, Ивкино); б) средневолжские глинистые породы сланценосной толщи (0,34–3,16% $C_{орг}$), образующие элементарные циклиты с углеродистыми сланцами (разрезы Городище, Ивкино, Важью, Койгородок, Синегорье, скв. 559). В изученных верхнеюрских отложениях установлены близкие геохимические особенности.

В кимериджских и нижневолжских отложениях концентрации большинства химических элементов (Fe, Ti, Cr, V, Cu, Pb, Mo, Zn), в основном, соответствуют средним (кларковым) концентрациям этих элементов в глинистых породах. Концентрации S, Se, Ni, Co, Ag, в изученных породах повышены в 2–5 раза. Наиболее заметное увеличение концентраций Ni, Co и Ag наблюдается в существенно обогащенных биогенным карбонатным материалом (30–50% $CaCO_3$) разностях глинистых пород. Распределение повышенных концентраций S и Se, напротив, относительно равномерное, по-видимому, они связаны в сульфидах железа, присутствующих в глинистых породах в рассеянном состоянии и в виде различных стяжений.

В средневолжских глинах, присутствующих в составе сланценосной толщи, обогащение некоторыми элементами (Ni, Co) обычно еще выше, чем в подстилающих кимериджских и нижневолжских глинистых породах, а спектр концентрирующихся элементов несколько шире – содержание Mo, P и, в ряде случаев V, в них заметно выше (в 3–5 раз) кларкового уровня. Очевидно, это связано с заметным влиянием морского ОВ на геохимическую обстановку.

Концентрации Mn в изученных известково-глинистых отложениях, в основном, понижены (в 2–5 раз) относительно среднего содержания в глинистых породах и соответствуют этому уровню только в высокоизвестковых (30–50% $CaCO_3$) разностях.

Распределение химических элементов в углеродистых сланцах. При переходе от глинистых пород к углеродистым сланцам одновременно с $C_{орг}$ (5–27%) возрастает содержание многих химических элементов (рис. 5, а). Наиболее существенно увеличиваются концентрации тех элементов (S, Se, Ni, Ag, Mo, V, P), содержание которых в подстилающих кимериджских и нижневолжских породах уже было повышенным. Среди этих элементов выделяются наиболее высокой степенью концентрирования S, Mo и Se. Содержание этих элементов в сланцах разных районов РП в 20–50 раз и более превышают кларковый уровень, а концентрации Mo в наиболее высокоуглеродистых разновидностях сланцев (>30% $C_{орг}$) – в 100 раз и более. Эти величины более чем на порядок выше установленных во вмещающих известково-глинистых породах.

В меньшей степени, но также заметно, в сланцах концентрируются Ni, Ag, V, P и, в ряде случаев, Cu. Содержание этих элементов иногда в 5–10 раз превышает кларковый уровень, что существенно выше геохимического «фона» для этих элементов во вмещающих известково-глинистых отложениях. Обособляется группа

химических элементов Zn, Co, Cr, As с относительно более низким уровнем концентрирования в горючих сланцах, но который, тем не менее, в 2–5 раз превышает среднее содержание этих элементов в глинистых породах. Во вмещающих глинистых осадках эти элементы не накапливались и, следовательно, существенно изменили свое поведение в обстановках с интенсивным накоплением морского ОВ.

Концентрации Ti и Fe при переходе от глинистых пород к горючим сланцам, существенно не изменяются и остаются близкими среднему содержанию этих элементов в глинистых породах. Увеличение концентраций Fe наблюдается лишь в отдельных случаях, но не более чем в 1,5 раза. Содержание Mn в углеродистых сланцах заметно ниже кларкового уровня.

3.2. Химические элементы в отложениях аптского битуминозного горизонта

Распределение химических элементов в аптских отложениях, вмещающих битуминозный горизонт («геохимический фон»). Аптские глины изучались в разрезах у г.г. Ульяновска, Сенгиля, Хвалынска; в разрезе Гуселка изучены отложения, фациально замещающие битуминозный горизонт по мере приближения к берегу палеоводоема. По уровню $C_{орг}$ (0,99–3,60 %) аптские глинистые отложения близки верхнеюрским глинистым породам, но отличаются от них низкой карбонатностью (0,57–4,54 % $CaCO_3$) и постоянным присутствием примеси наземного ОВ.

Концентрации Fe, Ti, Cr, V, Zn, Pb, Mo в аптских глинах, в основном, соответствуют кларковому содержанию этих элементов для глинистых пород. Концентрации S, Se, Ni, Co, Ag, (иногда Cu) у контактов с битуминозным горизонтом бывают несколько (не более чем в 2–2,5 раза) повышены, что значительно меньше «фоновое» содержания этих элементов в верхнеюрских известково-глинистых породах. Концентрации P в глинах, в основном, низкие (почти в 2 раза ниже кларкового уровня), фосфоритовые стяжения в нижнеаптских отложениях отсутствуют. Такое поведение P, наряду с низким содержанием биогенного карбонатного материала, видимо, свидетельствует в пользу олиготрофности и относительно низкой «фоновой» биопродуктивности аптского водоема. Концентрации Mn в аптских глинах заметно более низкие по сравнению с кларковым уровнем. Это обстоятельство, по-видимому, обусловлено перераспределением Mn в диагенетических процессах, в пользу чего свидетельствуют высокие концентрации этого элемента (8,81–29,46 % MnO) в карбонатных конкрециях из аптских отложений.

Распределение химических элементов в битуминозных сланцах. Поведение химических элементов в аптских битуминозных сланцах наиболее отчетливо проявлено в разрезе у г. Ульяновска. Содержание $C_{орг}$ в отложениях битуминозного горизонта существенно возрастает (до 6–8%). В них также в заметном количестве появляется примесь биогенного $CaCO_3$ (до 20 % на отдельных уровнях). В сланцах концентрируется широкий спектр химических элементов – S, Mo, Se, Ag, V, Cu, Co, P, Cr, Ni (рис. 5, б). Наиболее высокие содержания, более чем в 10 раз превышающие кларковый уровень, характерны для S, Mo и Se. Концентрации V, Ag, Cu, Co, As в

сланцах в 2,5–3,5 раза выше, чем среднее содержание этих элементов во вмещающих породах. Сходным образом ведут себя Fe и P, хотя степень их относительной концентрации не так велика – в 1,5–1,8 раза превышает кларковый уровень в наиболее высокоуглеродистых (8–9% $C_{орг}$) разностях битуминозных сланцев.

Элементы Ti, Pb, Zn не показывают существенного изменения концентраций при переходе от вмещающих глин к битуминозным сланцам. Концентрации Mn в сланцах, также как и во вмещающих глинах, в основном, понижены относительно кларкового уровня. В то же время в известковистых разностях сланцев, приуроченных к нижней части битуминозного горизонта, отмечаются более высокие концентрации Mn, близкие среднему содержанию в глинистых породах и даже несколько (в 1,5–2 раза) более высокие. Очевидно, в обстановках биогенного карбоната накопления возникали собственные механизмы концентрирования Mn (вероятно, он входит в виде изоморфной примеси в структуру аутигенного кальцита).

3.3. Общие закономерности поведения химических элементов

Результаты исследований показывают, что верхнеюрские (кимериджско-волжские) и нижнемеловые (аптские) глинистые отложения РП различаются по геохимической специфике. В верхнеюрских отложениях отчетливую тенденцию к концентрированию проявляют Ni, Co, Ag и в ряде случаев Zn. Содержание элементов S, Se и (в средневолжских глинах) Mo, V, P также повышено по сравнению с кларковым уровнем. В аптских отложениях концентрации химических элементов, в основном, соответствуют среднему содержанию в глинистых породах. Геохимические различия, установленные в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях, были обусловлены не столько изменениями в источниках сноса (хотя такую возможность исключить нельзя), сколько разным режимом геохимических процессов в позднеюрских и раннемеловых морских бассейнах, различавшихся по характеру седиментации, биотическим условиям и по составу формирующихся осадков. Об этом свидетельствуют такие особенности распределения повышенных концентраций химических элементов, как локальный характер аномалий, их связь с распределением биогенного карбонатного материала и ОВ. Однако, несмотря на эти различия в средневолжских и в раннеаптских сланцах концентрируется близкий набор химических элементов, которые можно подразделить на две группы (см. рис. 5): 1) Mo, S, Se – выделяются высоким уровнем обогащения, концентрации этих элементов, как правило, превышают среднее содержание в глинистых породах в 10 раз и более; 2) V, Ag, Cu, P, Ni, Co, Zn демонстрируют более низкую степень концентрирования (в 2–5 раз). Mn ни в средневолжских, ни в раннеаптских углеродистых сланцах не накапливался, его концентрации, как правило, ниже среднего содержания в глинистых породах. Противоположное поведение элементов Mo и Mn соответствует их поведению в аноксидных обстановках [Холодов, Недумов, 1991]. При разном уровне $C_{орг}$ в средневолжских и раннеаптских углеродистых сланцах, степень концентрирования в них Mo вполне сопоставима. В отличие от других химических элементов, с возрастанием $C_{орг}$ в аптских осадках, увеличение концентрации

Mo в них происходило намного интенсивнее, чем в осадках волжского водоема. Вследствие этого аптские углеродистые сланцы (6–9% C_{org}) более заметно обогащены Mo по сравнению с относительно низкоуглеродистыми разностями средневожских сланцев с таким же C_{org} (5–10%) и более высоким.

Глава 4. Обстановки формирования углеродистых отложений в мезозойских водоемах Русской плиты

Существуют разные точки зрения на роль различных факторов в образовании морских углеродистых отложений. Ряд исследователей полагает, что причиной захоронения в осадках значительных количеств ОВ были аноксидные обстановки в водоемах [Demaison, Moore, 1980, 1991 и др.], другие отводят главную роль увеличению биопродуктивности [Pedersen, Calvert, 1990, 1991 и др.]. Н.М. Страхов (1937, 1976), специально рассмотрев этот вопрос на примере голоценовой истории Черного моря, показал, что сероводородное заражение не играет решающей роли в захоронении в осадках значительных количеств ОВ (хотя на качественный состав ОВ этот фактор может оказывать влияние); главным же фактором существенного увеличения содержания в осадках ОВ является увеличение биопродуктивности палеоводоемов. Мы также рассматриваем формирование средневожских и нижнеаптских углеродистых отложений РП как результат увеличения биопродуктивности морских бассейнов. Об этом свидетельствуют полученные данные о резком возрастании роли бассейнового ОВ во время накопления углеродистых осадков по сравнению с предшествующими этапами, когда доминировало ОВ, принесенное с суши.

Наиболее удовлетворительно вспышки биопродуктивности объясняются с помощью модели поступления в водоем биофильных элементов во время быстрых и относительно непродолжительных трансгрессий, которым предшествовали регрессивные эпизоды [Гаврилов, 1994, Гаврилов и др., 1996, 2002, 2008 и др.]. Ключевыми условиями для реализации данной модели являются: а) пологий уклон дна эпиконтинентальных водоемов от берега в сторону моря, в результате чего уже при малоамплитудных колебаниях уровня происходила значительная миграция береговой линии; б) небольшие глубины (до 200 м) и, как следствие, чувствительность фациальной структуры к изменениям уровня моря; в) неровный рельеф дна с выраженными пологими депрессиями и поднятиями. Вследствие такого характера рельефа при регрессии на освободившихся от моря территориях возникала система озер, болот или полузамкнутых водоемов (крайне мелководных и хорошо прогреваемых); в условиях гумидного климата в них накапливались растительное и растворенное ОВ, биофильные элементы. При трансгрессии море взаимодействовало с этими специфическими прибрежными ландшафтами, биофильные элементы поступали в бассейн, что приводило к резкой вспышке продуктивности наиболее низкоорганизованных форм биоты: бактериопланктона, органикостенных, динофлагеллят и пр., а соответственно к накоплению обогащенных ОВ илов. С началом накопления углеродистых илов начинал действовать рециклинг – т.е. возвращение из восстановленных осадков в толщу воды ряда элементов, прежде всего, фосфора. По завершении трансгрессии и затухании

рециклинга образование углеродистых илов прекращалось и сменялось накоплением фоновых для бассейна осадков.

4.1. Обстановки накопления органического вещества в средневожском палеоводоеме

Структура верхнеюрских толщ в изученных разрезах свидетельствует о том, что общий тренд развития морских бассейнов кимериджско-вожского времени осложнялся регрессивно-трансгрессивными циклами по крайней мере трех разных порядков. Наиболее отчетливо выражены два регрессивных эпизода – перед накоплением сланценосной толщи и после ее образования, которые устанавливаются по перерывам или резким изменениям литологических и геохимических параметров отложений. Регрессивные эпизоды более низкого порядка разделили единый этап формирования сланценосной толщи на подэтапы, соответствующие отложению отдельных пачек, различающихся по составу отложений. Наиболее мелкими элементами структуры сланценосной толщи являются элементарные седиментационные циклиты. Резкие контакты сланцевых слоев с подстилающими отложениями и, напротив, их плавные переходы к верхним элементам циклитов позволяют предполагать, что образование циклитов начиналось с трансгрессивных эпизодов, а заканчивалось падением уровня моря и небольшим размывом накопившихся осадков (в кровле циклитов). Амплитуда флуктуаций уровня моря в этих случаях, очевидно, не превышала нескольких метров.

При относительно высоком и стабильном стоянии уровня моря в «досланцевое» кимериджско-вожское время его малоамплитудные колебания слабо влияли на поставку биофильных элементов из прибрежных ландшафтов, что обусловило слабую дифференциацию между нижними и верхними элементами циклов, присутствующих в кимериджских отложениях. Палеогеографическая ситуация существенно изменилась после перерыва в осадконакоплении, вызванного падением уровня моря в конце кимериджа – начале вожского времени. Последовавшая средневожская трансгрессия была достаточно мощной и быстрой, однако подъем уровня моря был, очевидно, менее значительным, по сравнению с существовавшим ранее. Это привело к тому, что в прибрежной зоне не занятой морем оказалась широкая полоса суши, на которой могли развиваться почвы, озерно-болотные ландшафты. Анализ геохимических обстановок в современных болотных системах позволяет заключить, что процесс торфообразования создает условия для геохимической активности биологически важного фосфора, способствует его миграции в зоне гипергенеза [Ковалев, 1985]. На существенную роль болот в поставке биофильных веществ в море и соответствующий рост продуктивности морских водорослей указывали Л.М Венгер и Д.Р. Бакер [Wenger, Baker, 1986] при обсуждении причин образования пенсильванских черных сланцев Канзаса и Оклахомы.

Площадь освобожденных от моря территорий, покрытых озерно-болотными ландшафтами, увеличивалась также за счет внутрибассейновых поднятий, образовавших острова. Вокруг островов углеродистые осадки начинали, по-видимому, накапливаться раньше, чем в других частях водоема, что создало определенную пестроту в распределении фаций, затрудняющую корреляцию разрезов сланценосной

толщи в настоящее время. Помимо малоамплитудных колебаний, формирующих элементарные циклы, в отдельные моменты происходило и более масштабное падение уровня моря. Последующие его подъемы были по амплитуде меньше, чем уровень стояния моря, предшествовавший его падению. В результате осадки каждой из пачек углеродистой толщи накапливались во все более мелководных условиях.

Анализ распределения остатков биоты в литологически различных отложениях волжской сланценосной толщи показывает, что палеоэкологическая обстановка в водоеме в течение ее накопления была нестабильной. Во время накопления известково-глинистых отложений с низким содержанием ОВ преобладали благоприятные условия для существования различных форм организмов, характерные для нормально аэрируемых морей. Напротив, при накоплении обогащенных ОВ осадков условия обитания организмов ухудшались. Резкий всплеск продуктивности органикостенного планктона мог приводить к развитию в водоеме различных по негативному воздействию на биоту факторов. Во-первых, к возникновению в водной толще аноксидных обстановок, охватывающих мощный слой наддонной воды. Другим негативным фактором могло быть высокое потребление биофильных элементов органикостенным планктоном, что ограничивало развитие других форм микробиоты, в том числе извествьвыделяющих организмов. Нельзя исключить также выделение токсичных продуктов органикостенным планктоном при бурном цветении, как это наблюдается в современных водоемах во время т.н. «красных приливов». Таким образом, вследствие возрастания продуктивности органикостенного планктона резкое ухудшение палеоэкологических обстановок могло происходить не только в придонных, но и в поверхностных частях водной массы волжского моря. Причем во время образования отдельных слоев углеродистых осадков экологические условия также могли часто варьировать, на что указывает появление в сланцах остатков бентосной фауны.

4.2. Обстановки накопления органического вещества в аптском палеоводоеме

Аптский битуминозный горизонт отличается от волжской сланценосной толщи а) отсутствием выраженной цикличности; б) более значительной долей в составе ОВ наземного материала; в) отсутствием бентосной фауны и следов биотурбации в углеродистых отложениях.

Накопление осадков аптского битуминозного горизонта происходило на фоне быстро развивавшейся глобальной трансгрессии, которая являлась отражением эвстатического поднятия уровня моря в раннем апте. Трансгрессии предшествовал регрессивный эпизод, существование которого устанавливается в ряде разрезов по налеганию битуминозного горизонта с размывом на подстилающие отложения. Следствием освобождения от моря территорий было формирование в условиях гумидного климата [Ясаманов, 1978] на новообразованных прибрежных равнинах озер и заболочивающихся участков, т.е. озерно-болотных ландшафтов. В образовании аптских битуминозных осадков важной была не только сама трансгрессия, во время которой накапливались обогащенные ОВ осадки, но и предшествовавший ей регрессивный этап развития водоема. Также как и в волжское время, регрессия привела к образова-

нию по периферии относительно неглубокого моря обширных низинных территорий, покрытых рыхлыми нелитифицированными отложениями, незадолго до этого бывшими морскими осадками. Регрессию сменила относительно быстро развивавшаяся трансгрессия, и море покрыло ранее оставленные территории. Подъем уровня моря произошел довольно значительный – не менее чем на несколько десятков метров, согласно [Наq et al., 1987]. Также как и в волжское время, раннеаптская трансгрессия привела к взаимодействию моря с геохимически активными наземными ландшафтами, выносу в водоем биофильных элементов и вспышке продуктивности фитопланктона.

Накопление в осадках значительного количества ОВ было причиной генерации в них значительных масс H_2S , который диффундировал в наддонную воду и обусловил развитие сероводородного заражения. Поскольку водоем был относительно неглубоким, сероводородное заражение охватывало прежде всего придонные части водной толщи, но иногда поднималось в фотическую зону, о чем свидетельствуют следы массовой гибели молодых особей аммонитов, находящихся на планктонной стадии онтогенеза. С развитием аноксидных обстановок в водоеме связано отсутствие или угнетенное состояние бентосной фауны. После завершения трансгрессии и прекращения поступления биофильных элементов в водоем интенсивное цветение разнообразных форм планктона закончилось и, соответственно, прекратилось обогащение илов ОВ. Из-за присущей водоему консервативности (как системы) окончание накопления высокоуглеродистых осадков было менее резким, чем его начало. Относительная мелководность бассейна, прекращение генерации значительных масс H_2S в осадках и его диффузии в наддонные воды – все это обусловило достаточно быстрое окисление содержавшегося в морской воде сероводорода и исчезновение аноксидных обстановок. Возможно, что в некоторых частях бассейна, приближенных к дельтам рек, могла возникать плотностная стратификация за счет частичного распреснения поверхностных слоев воды. В пользу этого свидетельствует присутствие в отложениях остатков пресноводных зеленых водорослей [Барабошкин, Смирнова, 2002]. Некоторое увеличение содержания каолинита в горизонте битуминозных сланцев хорошо согласуется с моделью взаимодействия морских и прибрежных ландшафтов на фоне флуктуаций уровня моря. Действительно, прибрежные ландшафты, где происходило быстрое формирование почвенного покрова и болотных систем, характеризовались благоприятными условиями для формирования каолинита. При трансгрессии происходил размыв обогащенных каолинитом почв и других континентальных отложений, его вынос в море и обогащение углеродистых осадков по сравнению с нижележащими горизонтами.

Заключение

Литолого-геохимическое изучение верхнеюрских и нижнемеловых осадочных толщ Русской плиты позволяет выделить два уровня накопления обогащенных ОВ отложений – средневолжский (фаза Panderi) и нижнеаптский (фаза Volgensis). По стратиграфическому положению и интенсивности проявления они сопоставляются с субглобальным (поздняя юра – начало раннего мела в Бореальном поясе) и

глобальным (аптский «Selli level» или ОАЕ-1а) событиями. Обстановки накопления ОВ в средневожском и раннеаптском бассейнах РП были различными. В средневожское время накопление ОВ происходило на значительной территории в крайне мелководном морском водоеме с неровным рельефом дна и характеризовалось ярко выраженной цикличностью. Продолжительность образования элементарных циклов сопоставима с короткопериодными астрономическими циклами Миланковича (19-25 тыс. лет). В раннем апте обстановки, благоприятные для формирования углеродистых осадков, существовали в центральной, наиболее глубоководной части палеоводоема. ОВ накапливалось в осадках более равномерно, что привело к формированию относительно монотонного горизонта битуминозных сланцев. В средневожских и раннеаптских углеродистых осадках накапливалось в основном автотонное морское ОВ. Основным его источником служила биомасса одноклеточных водорослей. И в средневожском, и в раннеаптском морских водоемах развивались обстановки с дефицитом кислорода (вплоть до сероводородного заражения наддонных вод), однако устойчивость аноксии была различной. Редкая бентосная фауна, отсутствие биотурбации, седиментационная тонкая горизонтальная слоистость в раннеаптских битуминозных сланцах свидетельствуют о стабильной аноксии в центральной части палеоводоема. В средневожское время обстановки с дефицитом кислорода также возникали, но были неустойчивы и прерывались периодами нормализации кислородного режима. Особенности распределения химических элементов в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях РП указывают на различия в их геохимической специфике. В верхнеюрских известково-глинистых отложениях тенденцию к концентрации проявляют Ni, Co, Ag, в раннеаптских глинах содержание химических элементов в основном соответствуют кларковому уровню. Несмотря на эти различия в средневожских и раннеаптских углеродистых осадках концентрировался близкий набор химических элементов, причем содержание S, Mo, Se – элементов-индикаторов аноксии превышает кларковый уровень в 10 раз и более; также накапливаются P, V, Ag, Cu, Ni, Co, Zn.

Формирование средневожской и раннеаптской углеродистых толщ было приурочено к крупным средне-позднеюрскому и средне меловому этапам развития Русской плиты. В эти этапы обстановки осадконакопления в мелководных морях-проливах, покрывавших ее территорию, были различными. Седиментация в келловейско-вожских бассейнах была смешанной – карбонатно-терригенной, циклической; в готеривско-аптских – терригенной, относительно монотонной (не циклической), содержание биогенного CaCO₃ в осадках не превышало первых процентов. Интенсивное накопление ОВ в осадках в обоих случаях было связано с резким возрастанием продуктивности органикостенного фитопланктона. Причиной резкого роста было усиленное поступление в водоем биофильных элементов с суши в ходе стремительно развивавшихся трансгрессий, которым предшествовали регрессивные эпизоды.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых изданиях

- Гаврилов Ю.О., **Щепетова Е.В.**, Барабошкин Е.Ю., Щербинина Е.А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: седиментология и геохимия // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 359–380.
- Бушнев Д.А., **Щепетова Е.В.**, Льюров С.В. Органическая геохимия оксфордских высокоуглеродистых отложений Русской плиты. // Литология и полез. ископаемые. 2006. № 5. С. 475–488.
- Гаврилов Ю.О., **Щепетова Е.В.**, Рогов М.А., Щербинина Е.А. Седиментология, геохимия и биота волжских углеродистых отложений северной части Среднерусского моря (Костромская область) // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 4. С. 396–424.
- Щепетова Е.В.** Седиментология и геохимия сланценосной толщи (верхняя юра, зона Panderi) в северной части Русской плиты // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. XII. Вып. 4. С. 74–89.

Сборники статей, материалы и тезисы конференций

- Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Гаврилов Ю.О., **Щепетова Е.В.**, Букина Т.Ф., Яночкина З.А. Магнитные свойства волжских отложений как индикаторы железосодержащих минералов и их значение для реконструкций условий седиментации в позднеюрском палеобассейне Поволжья // Избранные труды Межведомственной научной конференции «Геологические науки – 99». Саратов. 1999. С. 38–42.
- Щепетова Е.В.**, Гаврилов Ю.О., Барабошкин Е.Ю. Геохимия и условия образования осадков аптского аноксидного бассейна Русской плиты // Проблемные вопросы региональной и местной стратиграфии фанерозоя Поволжья и Прикаспия / Материалы региональной научно-практической стратиграфической конференции. Саратов: НВНИИГГ. 2001. С. 62–64.
- Щепетова Е.В.** Геохимические и биотические особенности отложений раннеаптского морского бассейна Русской плиты в связи с изменениями кислородного режима наддонных вод // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков / Материалы Всероссийской научной конференции. М: «Связь-принт». 2002. Т. 1. С. 209–210.
- Барабошкин Е.Ю., Гаврилов Ю.О., **Щепетова Е.В.**, Щербинина Е.А., Захаров В.А., Гужиков А.Ю., Гаврилов С.С., Никульшин А.С. Влияние бореальных и тетических водных масс на палеоэкосистемы и седиментацию раннемелового бассейна Русской плиты // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков / Материалы Всероссийской научной конференции. М: «Связь-принт». 2002. Т.1. С. 184–185.
- Щепетова Е.В.** Геохимические особенности высокоуглеродистых отложений мезозоя Русской плиты // Генетический формационный анализ осадочных комплексов фанерозоя и докембрия. Материалы III Всероссийского литологического совещания. Москва: Изд-во Московского университета. С. 409–411.
- Щепетова Е.В.** О некоторых седиментологических особенностях волжских морских отложений северо-восточной части Русской плиты // Геология и минеральные ре-

сурсы Европейского северо-востока России (седиментогенез, эволюция осадочных бассейнов). Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 73–77.

Щепетова Е.В. Седиментационные и геохимические обстановки формирования толщи волжских горючих сланцев зоны Panderi в северо-западной части Московской синеклизы // Материалы первого Всероссийского совещания Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. М.: ГИН РАН, 2005. С. 256–259.

Бушнев Д.А., **Щепетова Е.В.** Лыуров С.В. Оксфордский высокоуглеродистый горизонт Русской плиты: новые седиментологические и геохимические данные // Материалы I Всероссийского совещания «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» / Под ред. Захарова В.А, Рогова М.А., Дзюбы О.С. М.: ГИН РАН, 2005. С. 32–35.

Щепетова Е.В. Позднеюрские-раннемеловые события, связанные с накоплением морского ОВ и их региональное отражение на РП // Палеонтология, биостратиграфия и палеобиогеография бореального мезозоя. Материалы сессии, посвященной 95-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.Н.Сакса, Новосибирск: Гео. 2006. С. 210–213

Щепетова Е.В. О некоторых общих закономерностях накопления сланценосной толщи зоны Panderi в разных частях волжского бассейна Русской плиты // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Материалы V Всероссийского литологического совещания. Екатеринбург, 2008. С. 447–450.

Щепетова Е.В. Палеоклиматические реконструкции по данным о распределении глинистых минералов в верхнеюрских отложениях Русской плиты: возможности и ограничения // Материалы III Всероссийского совещания «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» / Под ред. Захарова В.А. Саратов: Наук», 2009. С. 257–260.

Щепетова Е.В. «Среднерусский» и «суббаженковский» типы верхнеюрских углеродистых отложений на севере Русской плиты (Сысольская впадина) и их палеогеографическая интерпретация. // Актуальные вопросы литологии. Материалы 8-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург, 2010. С. 362–363.

Gavrilov Y.O., **Shchepetova E.V.**, E.A. Shcherbinina, E.Yu. Baraboshkin. The Early Aptian Anoxic Event in the Basin of the Russian Craton // *Paleoceanographie du Mesozoique / Mesozoic paleoceanography Seance specialisee de la SGF (Abstract volume)*. Paris: Universite Pierre et Marie Curie, 2003. P. 17–19.

Rogov M., **Shchepetova E.**, Ustinova M., Price G.D., Guzhikov A., Pimenov M., Dzyuba O. A multi-proxy study of the Kimmeridgian/Volgian boundary beds in the Gorodischi section (Middle Volga area, Russia), the lectostratotype of the Volgian Stage // *Volum. Jurassica*. 2006. V. IV. P. 208–210.

Yu. Gavrilov, **E. Shchepetova**, E. Shcherbinina. Volgian black-shale sediments of the Ivkino section, northern Russian Platform: sedimentary structure, geochemical and biotic record // *Geophysical Research Abstracts of EGU General Assembly*. 2008.

Shchepetova E. Upper Jurassic paleoclimatic reconstructions based on clay mineral distribution in deposits of the Russian Platform // *Earth Science Frontiers. Special Issue. Short Papers for the 8th Congress on the Jurassic System «Marine and non-marine Jurassic»*. 2010. V. 17. P. 327–329.