

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 4

ГЕОЛОГИЯ

№ 5 • 2014 • СЕНТЯБРЬ — ОКТЯБРЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Хорошилова М.А., Франке Д., Кириллова Т., Мули Б., Никишин А.М. Датировка и корреляция опорных сейсмических горизонтов в Лаптевоморском бассейне	3
Сначёв В.И., Сначёв А.В., Романовская М.А. Ключевской габбро-гранитный массив — недостающее звено южно-среднеуральского раннекаменноугольного рифта	12
Тевелёв Ал.В., Кошелева И.А., Хотылев А.О., Тевелёв Арк.В., Прудников И.А. Особенности строения и эволюции Айского вулканического рифейского комплекса (Южный Урал).	19
Плечов П.Ю., Попов Д.В. Характер вулканической активности в Крыму в позднеальбское время	29
Стафеев А.Н., Суханова Т.В., Латышева И.В., Косоруков В.Л., Плечов П.Ю., Ростовцева Ю.И., Смирнова С.Б., Мороко А.А. Ченкская толща песчаников (нижняя юра) Горного Крыма: стратиграфия и условия осадконакопления	40
Линёва М.Д., Линёв Д.Н., Ершов А.В. Двухмерное моделирование накопления карбонатных отложений в морских условиях	49
Габдуллин Р.Р., Самарин Е.Н., Иванов А.В., Храмов А.Е., Короновский А.А., Руннова А.Е., Яшков И.А., Бадулина Н.В., Игтисамов Д.В. Астрономо-климатические циклы в разрезе верхнемеловых отложений Саратовского Поволжья	55
Рыбкина А.И., Ростовцева Ю.В. Циклостратиграфия понтических отложений Восточного Паратетиса (разрез мыса Железный Рог)	72
Цеховский Ю.Г., Япаскерт О.В., Стукалова И.Е. Седиментогенез в мезозойско-кайнозойских континентальных рифтах Центральной Азии	78
Кулешова М.Л., Данченко Н.Н., Сергеев В.И., Шимко Т.Г., Малашенко З.П. Свойства бентонитов как материалов для создания сорбционных барьеров	87
Пийп В.Б., Ефимова Е.А. Методы однородных функций и моделирования для восстановления геологического разреза в Тибете по годографам преломленных волн	96
<i>Краткие сообщения</i>	
Юрченко А.Ю. Генезис кальцита в карбонатных породах осадочных бассейнов по данным изотопного состава углерода и кислорода	107

CONTENTS

Khoroshilova M.A., Franke D., Kirillova T., Mouly B., Niki- shin A.M. Dating and correlation of base seismic horizons in the Laptev Sea Basin . . .	3
Snachev V.I., Snachev A.V., Romanovskaya M.A. Kluchevskoy gabbro- granite massif as a missing link of the Southern-Middle Urals early carboniferous rift . . .	12
Tevelev A.I.V., Kosheleva I.A., Khotylev A.O., Tevelev Ark.V., Prudnikov I.A. Building and evolution of the Ay volcanic complex (South Ura- lian riphean).	19
Plekhov P.Yu., Popov D.V. Character of Late Albian volcanic activity in South- western Crimea	29
Stafeev A.N., Sukhanova T.V., Latysheva I.V., Kosorukov V.L., Plekhov P.Y., Rostovceva Y.I., Smirnova S.B., Moroko A.A. The Chenkskaya series of sandstones (Lower Jurassic) of the Crimean Mountains: stratig- raphy and depositional environments	40
Lineva M.D., Linev D.N., Ershov A.V. Two-dimensional modeling of car- bonate sedimentation in marine environments	49
Gabdullin R.R., Samarin E.N., Ivanov A.V., Khramov A.E., Ko- ronovskiy A.A., Runnova A.E., Yashkov I.A., Badulina N.V., Igtisamov D.V. Astronomo-climatic cycles in the Upper Cretaceous section of the Saratov Volga region	55
Rybkin A.I., Rostovtseva Yu.V. Astronomically-tuned cyclicity in Upeer Maeotian sediments of the Eastern Paratethys (Zhelezniy Rog section, Taman).	72
Tsekhovskiy Yu.G., Yapaskurt O.V., Stukalova I.E. Sedimentogenesis in Mesozoic-Cenozoic rifts of Central Asia	78
Kuleshova M.L., Danchenko N.N., Sergeev V.I., Shimko T.G., Malashenko Z.P. The Properties of bentonite as material for sorption barriers.	87
Piip V.B., Efimova E.A. Homogeneous function method and modeling method for reconstruction of geological cross section in Tibet by refraction travelttime curve	96
<i>Brief communications</i>	
Iurchenko A.Iu. Genesis of calcite within carbonate rocks of sedimentary basins ac- cording to stable carbon and oxygen isotopes distribution	107

УДК 550.2:551.763.3(470.44)

**Р.Р. Габдуллин¹, Е.Н. Самарин², А.В. Иванов³, А.Е. Храмов⁴, А.А. Короновский⁵,
А.Е. Руннова⁶, И.А. Яшков⁷, Н.В. Бадулина⁸, Д.В. Игтисамов⁹**

АСТРОНОМО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ В РАЗРЕЗЕ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ САРАТОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ¹⁰

Впервые комплексно исследованы серией методов строение и генезис циклично построенного разреза верхнемеловых отложений у г. Вольск Саратовской области. Аналитические результаты статистически обработаны методами ручного подсчета и спектрального и вейвлетного анализов. Элементарные пластовые циклиты и циклические вариации ряда параметров связаны с астрономо-климатическими циклами Миланковича.

Ключевые слова: меловой период, циклы Миланковича, геохимия, вейвлетный анализ, Вольск.

The composition and genesis of cyclic section of the Upper Cretaceous deposits near Volsk town at Saratov province were for the first time investigated by the series of methods. Analytical results of the research were statistically processed by methods of the manual calculation, spectral and wavelet analyzes. Elementary bedding cycles and cyclic variations of the row parameters studied were correlated with astronomo-climatic Milankovich cycles.

Key words: Cretaceous, Milankovich cycles, geochemistry, wavelet analysis, Volsk.

Введение. Циклично построенные разрезы осадочных пород своим происхождением часто обязаны циклическим вариациям орбитальных параметров Земли. Циклы прецессии оси вращения Земли, наклона эклиптики и эксцентриситета ее орбиты, безусловно, посредством вариаций климата и географии влияют на седиментационные системы. Существует несколько подходов и связанных с ними проблем при выявлении связи элементарной пластовой цикличности или циклических вариаций тех или иных параметров с астрономическими циклами. Авторы признают, что помимо циклов Миланковича (первый фактор) на седиментацию влияют и циклы солнечной активности (второй фактор), однако в статье этот фактор не рассматривается. Скорее всего, целесообразно счи-

тать элементарную цикличность результатом постоянного взаимодействия этих двух факторов.

Еще одна проблема — интерпретация циклитов с позиции палеогеографии. Полученные результаты аналитических исследований не всегда удается логично объяснить с позиций меняющихся ландшафтно-климатических условий. Несмотря на широко применяемый в последнее время циклостратиграфический метод, не все понятно в анализе самих циклитов. Статистическая обработка циклического набора данных на персональном компьютере не всегда позволяет разрешить вставшие перед исследователем вопросы.

Впервые коллективом авторов применен комплексный подход для уточнения палеогеографических условий океана Тетис и его периферии в поздне-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, доцент; *e-mail:* mosgorsun@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, доцент; *e-mail:* samarin@mail.ru

³ Саратовский государственный технический университет, факультет экологии и сервиса, лаборатория инженерной геоэкологии, декан, доцент; *e-mail:* yashkovia@mail.ru

⁴ Саратовский государственный технический университет, НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем», вед. науч. с.; Саратовский государственный университет, факультет нелинейных процессов, профессор; *e-mail:* hramovae@gmail.com

⁵ Саратовский государственный технический университет, НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем», вед. науч. с.; Саратовский государственный университет, факультет нелинейных процессов, профессор; *e-mail:* alexey.korovskii@gmail.com

⁶ Саратовский государственный технический университет, НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем», ст. науч. с.; *e-mail:* anefila@gmail.com

⁷ Саратовский государственный технический университет, факультет экологии и сервиса, лаборатория инженерной геоэкологии, вед. науч. с.; *e-mail:* yashkovia@mail.ru

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, науч. с.; *e-mail:* nvbadulina@mail.ru

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; *e-mail:* dinar.igtisamov@rambler.ru

¹⁰ Работа поддержана Министерством образования и науки (гранты СГТУ-141 и СГТУ-146; Программа стратегического развития СГТУ имени Ю.А. Гагарина на 2012—2016 годы, тема 2.1.6. «Развитие учебно-научной лаборатории инженерной геоэкологии»), а также РФФИ (проекты 14-05-31171, 14-05-31538 мол_a и 12-05-00263а).

вое время и связи вариаций палеогеографии с астрономо-климатическими циклами М. Миланковича на примере разреза карьера цементного завода «Большевик» в Саратовской области. Выбор этого разреза обусловлен его доступностью и долгой историей его изучения.

Методика работ. Геологический разрез изучен комплексом методов. Результаты этих исследований опубликованы ранее [Габдуллин, Иванов, 2001, 2002, 2003; Габдуллин, 2002, 2007]. При работе применяли петрографические методы (макроскопическое изучение пород на обнажении и микроскопическое в шлифах), химические методы (определение содержания CO_2 объемным методом на аппарате Кноппа—Фрезениуса и определение содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ методом автоматического кулонометрического титрования по величине рН на экспресс-анализаторе АН-7529), физические методы (рентгенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-4», результаты анализа автоматически обрабатывались на ЭВМ в программе X-ray), петромагнитные методы (определение магнитной восприимчивости (k); естественной остаточной намагниченности (J_n); остаточной намагниченности насыщения (J_{rs}); разрушающего поля остаточной намагниченности насыщения (H'_{cs}) и прироста магнитной восприимчивости после нагрева до 500°C в воздушной среде (dk)), а также палеоэкологический и палеоэколого-палеонтологический методы.

В результате петрографических исследований в разрезе выделены ритмичные и аритмичные толщи, установлены литотипы карбонатных ритмов. По итогам химических исследований, выполненных в ГИН РАН, получено циклическое распределение концентрации CO_2 и $\text{C}_{\text{орг}}$, подтверждающее обоснованность выделения карбонатных ритмов по петрографическим данным. Химический анализ позволил уточнить минеральный состав литотипов ритмов и оценить условия их формирования.

Итогом рентгенофазового исследования стало определение ряда глинистых минералов, не установленных по петрографическим данным. Уточненные сведения о минеральном составе мергелистых известняков и мергелей позволили восстановить условия их формирования.

Целью петромагнитных исследований было воссоздание обстановки седиментации в палеобассейне путем комплексного анализа минералов-магнетиков в изученных разрезах. Достоинство этого метода заключается в возможности определить тонкодисперсные ферромагнитные минералы, не диагностируемые при макро- и микроскопическом изучении пород. В итоге в разрезе выявлена петромагнитная ритмичность, что позволило получить ценную информацию об условиях его формирования. Сопоставление данных петромагнитных исследований с результатами применения петрографических, физико-химических и литологических методов позволило оценить эволюцию палеобассейнов (фазы трансгрессий и регрессий).

В результате палеоэкологических и палеоэколого-палеонтологических исследований получены данные о предполагаемой температуре, глубине, солености, гидродинамическом режиме, структуре дна бассейна седиментации, газовом режиме в момент формирования карбонатных разрезов, которые хорошо коррелируют с данными других методов.

Комплексные исследования позволили выделить циклиты в изученном разрезе (кроме туронско-коньякского интервала), определить минеральный состав и установить циклическое распределение физических, химических и других характеристик в выделенных ритмах, типизировать ритмы, оценить существующие модели условий формирования карбонатных ритмов, применить ряд моделей для интерпретации природы ритмов.

Результаты исследований дополнены геохимическими данными. Полный геохимический анализ элементов 10 образцов, собранных Р.Р. Габдуллиным из туронских и коньякских отложений разреза (в которых ранее цикличность выделить не удалось), проводился на рентгено-флюоресцентном спектрокане «MARC.GV» (НПО «Спектрон», Санкт-Петербург) на кафедре инженерной геологии геологического факультета МГУ (аналитик Е.Н. Самарин). Подсчитаны соотношения и выявлена концентрация некоторых химических элементов, что указывает на изменение условий осадконакопления (глубины бассейна, гидродинамики, климата и др.), это позволило уточнить представления о режиме седиментации.

Анализ пластовой цикличности и ее связи с астрономо-климатическими циклами Миланковича ранее выполнен методом «ручного» подсчета числа осцилляций на параметрических кривых и статистическим методом спектрального Фурье-распределения (анализа) на ЭВМ. Критическими граничными условиями применения спектрального Фурье-анализа были сравнительно большая длина анализируемого числового ряда и равновеликость временных интервалов, что выдержать довольно трудно, результаты этих расчетов приведены в работе [Габдуллин, 2002]. В итоге результаты анализа связи цикличности с циклами Миланковича, полученные этими двумя методами, не всегда хорошо коррелируют между собой и не проясняют конкретный генезис исследуемых циклитов.

Для решения этой проблемы авторами впервые применена статистическая обработка полученных ранее параметрических данных вейвлетным методом.

Характеристика разреза карьера цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область). Разрез (рис. 1) расположен на северо-западном борту карьера цементного завода «Большевик». Разрезы окрестностей г. Вольск и карьеров цементных заводов детально изучены, их описание приведено в ряде работ [Архангельский, 1912; Матесова, 1930; Милановский, 1940; Волго-Уральская..., 1959; Герасимов и др., 1962; Камышёва-Елпатьевская, 1967; Глазунова, 1972; Якушин, Иванов, 2001; Ахлестина, Иванов, 2000; Яночкина и др., 2009; Олферьев и др., 2009а, б; Сельцер, Иванов,

2010]. За основу стратиграфического расчленения верхнемеловых отложений Русской плиты взята схема А.С. Алексеева, А.Г. Олферьева и С.М. Шика [1995]. Распределение изученных параметров по разрезу приведено на рис. 2 и 3.

Средний–верхний подъярусы туронского яруса. Туронские отложения представлены карбонатными породами среднего–верхнего подъярусов с раковинами *Inoceramus lamarki* и панцирями морских ежей, эти отложения с размывом перекрывают альбские песчаные темно-серые глины.

Пачка I. Мергель с фосфоритовыми желваками и горизонтами обломков призматического слоя мощностью 2 м. Мощность иноцерамовых горизонтов убывает снизу вверх по разрезу от 0,1–0,25 до 0,04–0,05 м. Встречены ожелезненные обломки мела. В основании пачки наблюдается аналог «фосфоритовой плиты» (0,3 м) — мергель, переполненный стяжениями фосфоритов разной формы, в основном полуокатанными, максимальная концентрация которых сосредоточена в средней части аналога «фосфоритовой плиты».

Пачка II. Желтовато-серый мел, иногда окремне-лый, мощность 2,5 м. Микроскопически порода представляет собой известняк биокристаллокластический. Отложения пачки содержат *Inoceramus lamarki*, *In. apicalis*, *Micraster corbovis*, *M. leskei*, *Conulus subrotundus*, *C. subconicus*, *Scaphites geitnitsi*, *Lewesiceras peramplum*, *Micraster corstetudinarium*, *Holaster planus*. Среднетуронский возраст отложений этой пачки установлен по присутствию зональных видов *Inoceramus lamarki*, *In. apicalis*, позднетуронский возраст — по находкам иглокожих *Micraster corstetudinarium*, *Holaster planus*. В работе [Матесова, 1930] в туронских отложениях отмечены также массовые находки устриц, брахиопод, зубов и обызвествленных позвонков акулых рыб. В туронских отложениях встречены следы жизнедеятельности *Chondrites*, *Teichichnus* и *Planolites*. Визуально цикличность отсутствует.

Нижний подъярус коньякского яруса. Пачка III. Желтовато-серый мел (микроскопически — известняк биокристаллолитокластический) мощностью 1,5–2 м. В верхней части наблюдается зеленовато-серый мергелистый мел с фосфоритовыми стяжениями и глауконитом, мощность 0,5 м. Общая мощность коньякских отложений составляет 2–2,5 м. На принадлежность отложений к нижнему подъярису указывают находки *Cremnoceramus wandereri* Andert. Морские ежи в изобилии встречаются в разрезах в районе г. Вольск [Матесова, 1930, 1935; Герасимов, 1962]. Отмечены находки устриц и аммонитов [Матесова, 1930]. Визуально цикличность отсутствует.

Верхний подъярус кампанского яруса. Пачка IV (второй горизонт кампана). Рыхлый писчий мел с обильными скелетами морских ежей. Кремнистость к кровле пачки усиливается. Мощность пачки 2–3 м. Пачка содержит макрофоссилии *Belemnitella mucronata mucronata* Schlot., *Belemnitella mucronata senior*, *Isomicrocraster sp.* и др.

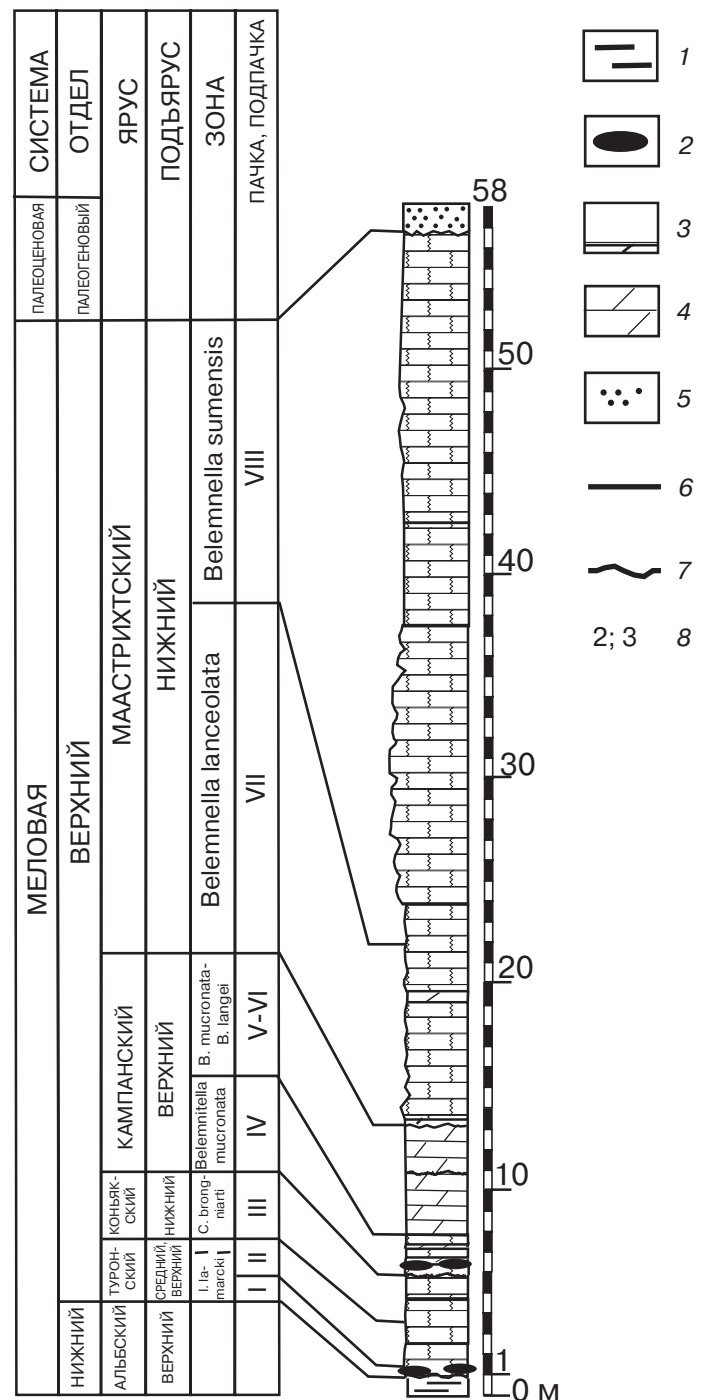


Рис. 1. Разрез верхнемеловых отложений карьера цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область): 1 — глины; 2 — фосфориты; 3 — писчий мел; 4 — мергели; 5 — пески; 6 — согласные стратиграфические границы; 7 — несогласные стратиграфические границы; 8 — тип ритмов, число ритмов

Отложения кампана несогласно, с размывом перекрывают коньякские породы. Амплитуда «волнистости» эрозионной поверхности может достигать до 5 см. Кампанские отложения представлены верхнекампанскими карбонатными породами мощностью 6 м.

Белый писчий мел (микроскопически — биокристаллолитокластический известняк) с тонкими прослоями зеленовато-серого мелоподобного мергеля (полосчатый мел, по М.Н. Матесовой [1930]) мощно-

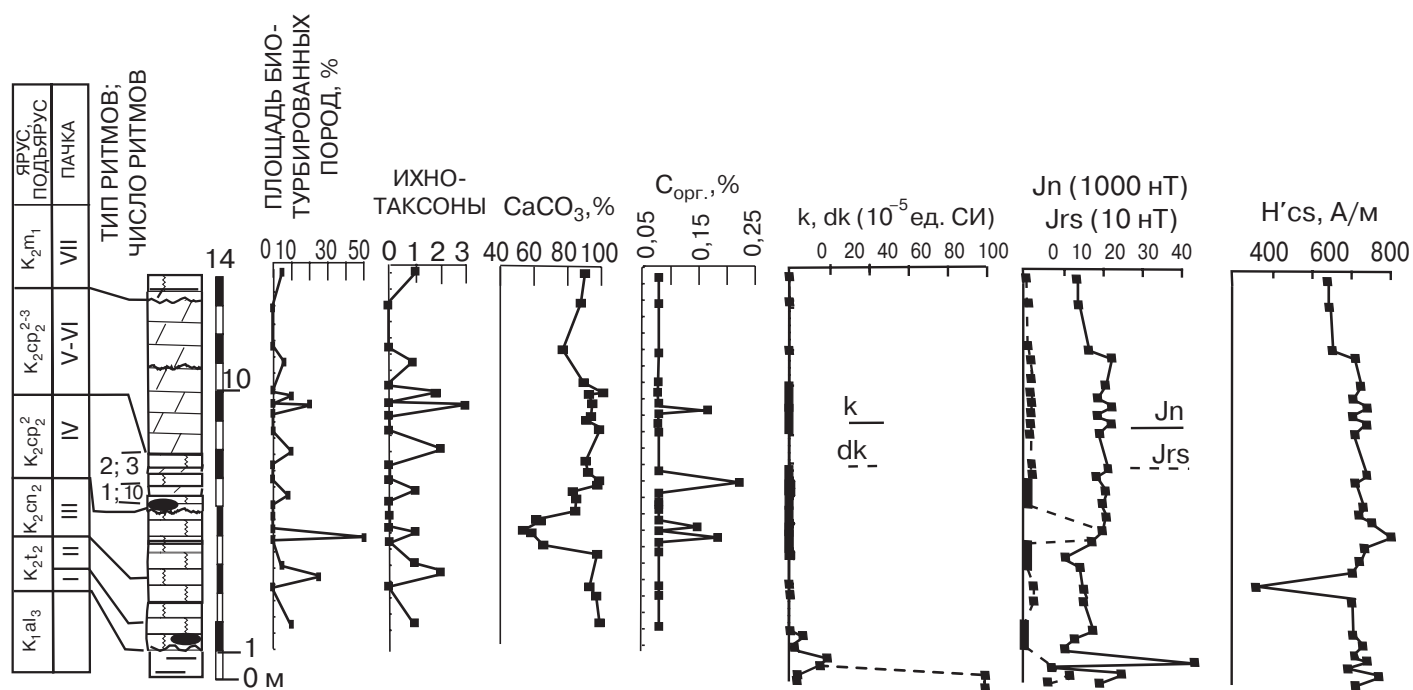


Рис. 2. Распределение площади биотурбированных пород, ихнотаксонов, CaCO_3 , $\text{C}_{\text{орг}}$, магнитной восприимчивости и ее прироста, естественной остаточной намагниченности, остаточной намагниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности в альбско-нижнемаастрихтских отложениях карьера цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область). Условные обозначения см. на рис. 1

стью 2 м. Граница между нижней и верхней пачками эрозионная. Пачка «полосчатого мела» (K_2sp_2^1) характеризуется в районе Вольска находками *Belemnitella mucronata mucronata* Schlot., *Isomicraster sp.* Она относится к нижней зоне верхнего кампана — *Belemnitella mucronata senior*. Пачка «полосчатого мела» характеризуется в районе Вольска находками *Echinocorys sp.*, *In. dariensis*, *B. m. volgensis* [Герасимов и др., 1962].

Пачку V–VI (второй–третий горизонты кампана). Толща узловатых белых биокристаллокластических мергелей, заключенных в серо-зеленом биокристаллолитокластическом мергеле (брекчированный мел, по М.Н. Матесовой), мощность 4 м. В середине верхней пачки наблюдается эрозионная поверхность с закатившимися в эрозионные ниши панцирями морских ежей. Возможно, эта поверхность служит границей пачек V и VI. Толща «брекчированного мела» ($\text{K}_2\text{sp}_2^{2-3}$) в Вольском районе содержит ростры *Belemnitella langei* Shatsk., *B. m. mucronata*, *B. m. senior*, а также морских ежей *Micraster grimmensis* Nietsch. и *Coraster cubanicus* Posi. Соответственно она относится к верхнему кампану и представлена вторым и третьим горизонтами кампана [Герасимов и др., 1962]. Таким образом, этот стратиграфический интервал разреза охарактеризован зонами *mucronata* и *langei*.

Из кампанских отложений в районе Вольска также отмечены находки родов головоногих (*Bostrychoceras*), двустворчатых (*Spondylus*) и лопатоногих моллюсков (*Dentalium*), брахиопод и одиночных кораллов (*Parasmilia*). Этот интервал разреза получил название «микрастрово кладбище» из-за обилия находок панцирей морских ежей [Матесова, 1930]. В кампанских от-

ложениях Вольского разреза установлены следы жизнедеятельности *Thalassinoides*, *Teichichnus* и *Planolites*.

Цикличность в толще «полосчатого мела» представлена 10 циклитами типа 1: мел (0,4–0,1 м) — глинистый мергель (0,02–0,05 м). В кровле более карбонатных элементов ритма (БКЭР) — слоев мела — наблюдаются эрозионные поверхности. Ритмичность в «брекчированном меле» представляет собой переслаивание массивных (2,5–0,6 м) и глинистых (0,03–0,05 м) мергелей. Установлено 3 циклита, отнесенных к типу 2.

Нижний подъярус маастрихтского яруса. Мощность отложений нижнего маастрихта в Вольском районе составляет 40–60 м. Отметим, что в разрезе карьера цементного завода «Коммунар» (Вольск) присутствуют отложения самой первой подзоны (K_2m_1^1) — *Belemnella licharewi*, но они не встречены в изученном разрезе. Отложения представлены серовато-белым песчаным мелом с тонкими глинистыми прослоями (0,3–0,4 м).

Пачка VII. Белый писчий мел с прослоями зеленовато-серого мергеля (10–15 м). Нижнемаастрихтский возраст отложений подтверждается находками *Bel. lanceolata*, *Baculites anceps leopoldensis*, *Acanthoscaphites tridens*, *Hoploscaphites constrictus* [Герасимов и др., 1962]. Это сообщество форм характеризует среднюю подзону нижнего маастрихта (K_2m_1^2).

Пачка содержит 8 циклитов типа 1: писчий мел (2,5–0,2 м) — глинистый мергель (0,03–0,17 м). Циклиты подчеркнуты профилем выветривания и не выдержаны по мощности (0,35–2,6 м).

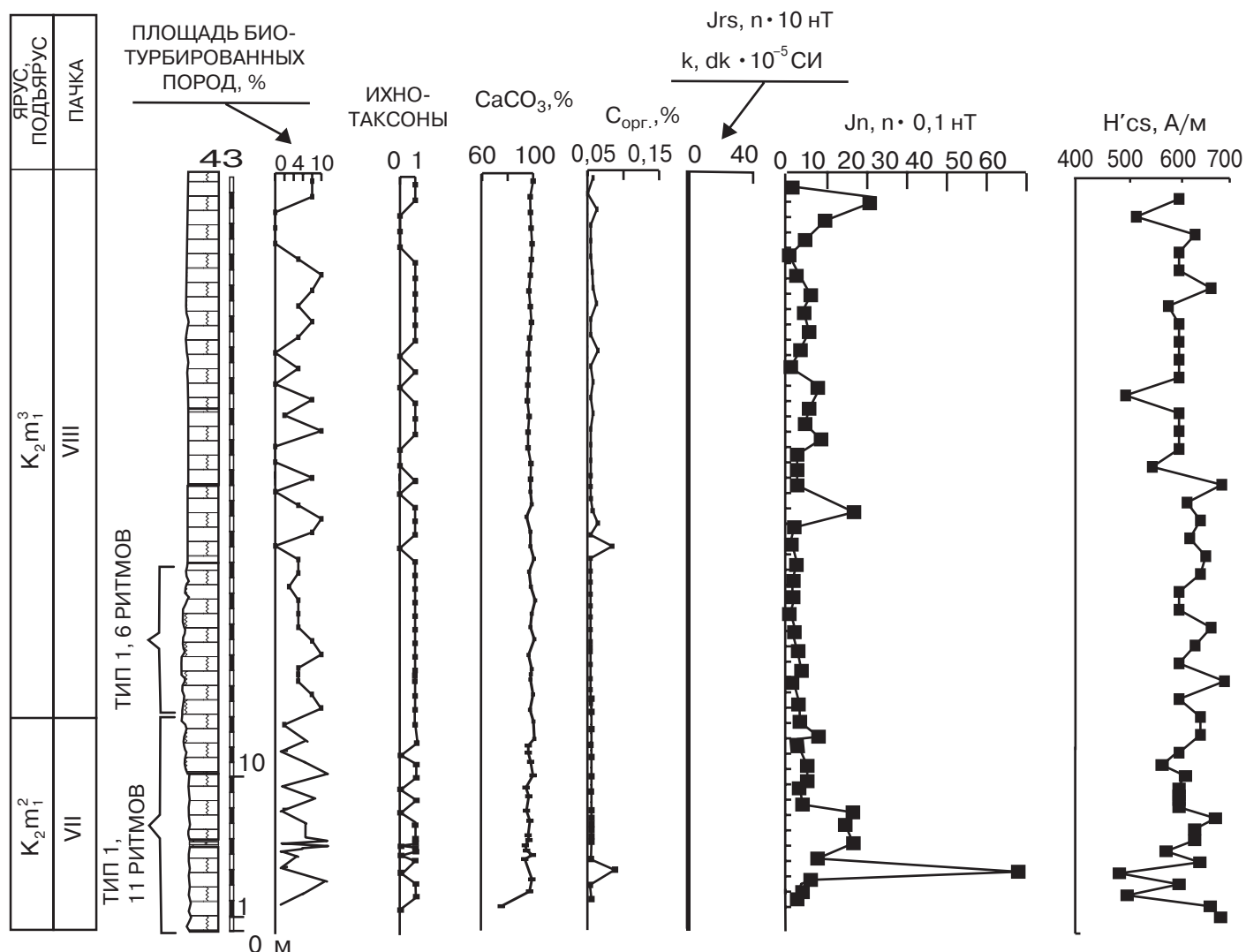


Рис. 3. Распределение площади биотурбированных пород, ихнотаксонов, CaCO_3 , $C_{\text{орг}}$, магнитной восприимчивости и ее прироста, естественной остаточной намагниченности, остаточной намагниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности в нижнемаастрихтских отложениях карьера цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область). Условные обозначения см. на рис. 1

Пачка VIII. Песчий мел с прослоями глин и мергелей, сверху сменяющийся глауконитовыми песчанистыми мергелями, мощность 30–57 м.

Пачка представлена белым песчим мелом (>30 м). Третья подзона нижнего маастрихта ($K_2m_1^3$) установлена в исследованном разрезе по находкам *Bel. lanceolata sumensis*, *Vac. anceps leopoldensis*, *Asc. tridens*, *H. consitricus*, *In. balticus* Boehm.

Пачка представлена циклитами типа 1: песчий мел (1,1–2 м) — глинистый мергель, глина (0,03–0,05 м). Рентгенофазовый анализ показал, что большинство визуально установленных глинистых прослоев представлено глинистым песчим мелом (табл. 1). Циклиты отчетливо проявляются в профиле выветривания и хорошо выдержаны по мощности (1,15–2,05 м). Более того, можно выделить ритмы более высокого порядка путем группировки ритмов по парам. Иными словами, закономерно чередуются ритмы мощностью 1 м с циклитами мощностью 2 м. Таким образом, выде-

ляется 8 циклитов 3-го порядка и 4 циклита 2-го порядка в интервале 12 м от основания пачки. Далее вверх по разрезу толщина ациклична на протяжении 11 м, после чего наблюдаются два циклита мел — глина 3-го порядка (мощность ритмов 1–2,5 м) или 1 цикл 2-го порядка. Затем на протяжении 10 м толщина опять аритмична. Возможно, ациклические интервалы мощностью 10–12 м — это элементы циклита 1-го порядка, чередующиеся с циклическими интервалами.

В нижнемаастрихтских породах также содержатся ежи-цидароиды (*Cidaris*, *Salenia*), спатангоиды (*Echinocorys*), устрицы (*Spondylus*, *Ostrea*), пектениды (*Janira*), губки (*Ventriculites*) и кораллы (*Cylicosmilia*); редко встречаются брахиоподы, брюхоногие моллюски (*Pleurotomaria*?) [Матесова, 1930, 1935]. В маастрихтских отложениях Вольского разреза установлены ихнофоссилии *Thalassinoides*, *Teichichnus* и *Planolites*.

Геохимические данные для туронско-коньякского интервала разреза позволили рассчитать 8 отношений

Таблица 1

Схема сопоставления геохронологических шкал

Век	Авторы, год									
	Hinte, 1975	Harland, 1982	Palmer, 1983	Haq, 1987	Harland, 1989	Cowie, 1989	Odin, 1990	Obradovich, 1993	Gradstein & Ogg, 1994	Hardenbol et al., 1998
	Продолжительность, млн лет									
Маастрихт	5	8	8,5	7	9	10	7	6	6,3	6,3
Кампан	8	10	9,5	10	9	8	10	12	12,2	12,2
Сантон	4	5	3	4	4	3	5	3	2,3	2,3
Коньяк	4	1	2	1	2	2	1	3	3,2	4,5
Турон	6	2	3	3	3	3	3	4	4,5	4,5
Сеноман	8	6,1	6	4	5,5	4	5	5	5,4	5,4

(модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности (рис. 4).

Отношение Ti/Mn служит показателем мелководности отложений — оно уменьшается при удалении от области сноса и возрастает при приближении к суше. Для континентальных обстановок величина отношения составляет 110–150. Из-за устойчивости минералов титана к химическому выветриванию они накапливаются в аллювиальных и прибрежно-мор-

ских условиях. В нормальносоленом морском бассейне содержание Ti понижено из-за отсутствия его истинных растворов [Юдович, Кетрис, 2011]. Низкие значения этого отношения для коньякского века свидетельствуют о нормальносоленом режиме бассейна, а также о больших глубинах и удалении от области сноса (относительно турона). Остальные показатели высокие, это свидетельствует о том, что осадконакопление происходило в мелководной обстановке. Отметим

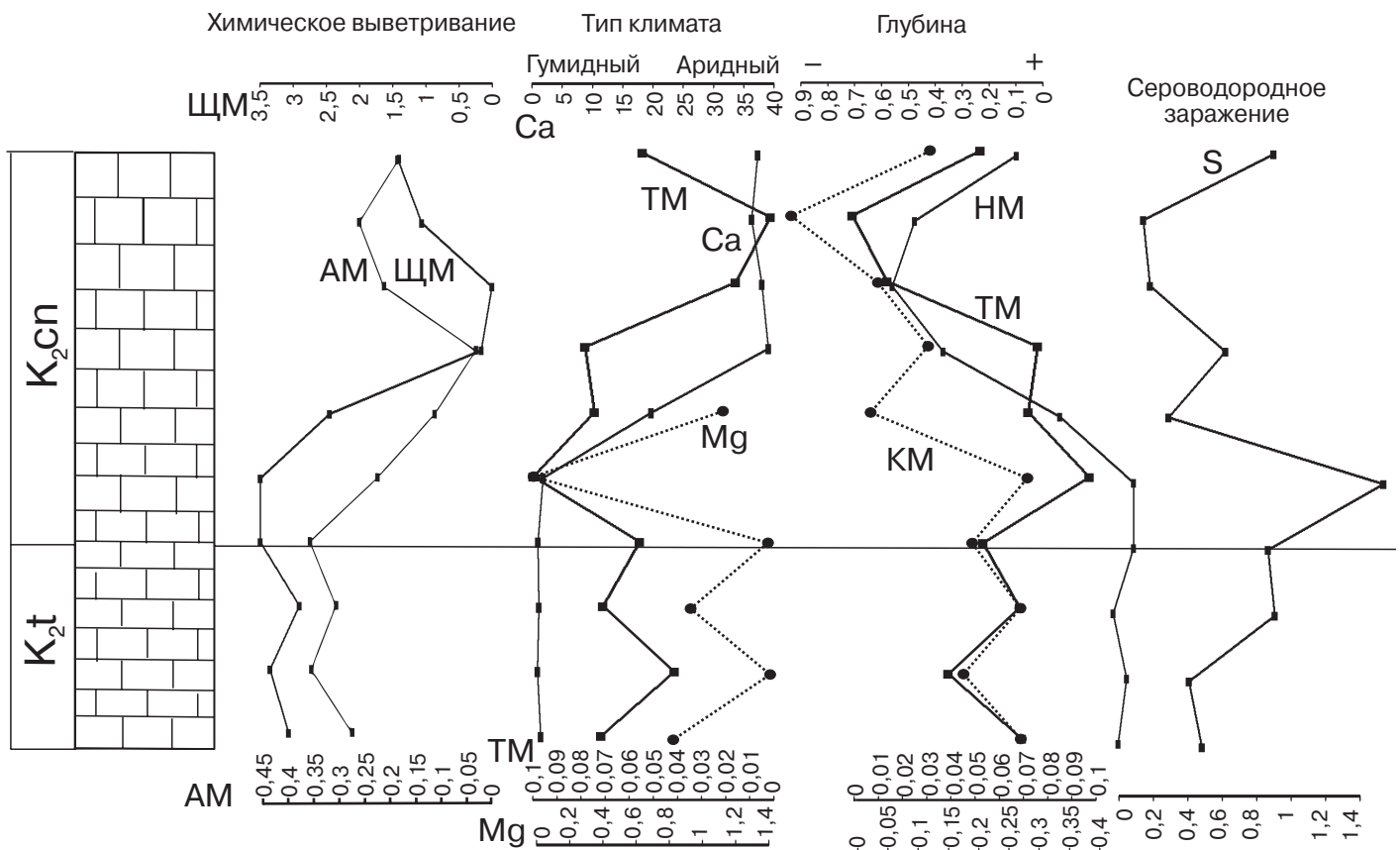


Рис. 4. Геохимическая характеристика туронско-коньякского фрагмента разреза карьера «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область). Содержание элементов указано в %. Пояснения см. в тексте

аномально высокие значения в образце № 7, интерпретация чего будет дана ниже.

Алюмокремнистый модуль (АМ) равен отношению содержания оксидов Al_2O_3 и SiO_2 и показывает степень химического выветривания пород. Повышенная глиноземистость осадочных пород и высокие значения алюмокремниевого модуля (например, $>0,35$), как правило, указывают на размыв гумидных кор выветривания или химическое выветривание пород [Енгальчев, Панова, 2011]. В образце № 1 по отношению к образцу № 2 (турон и далее вверх по разрезу) значения модуля существенно больше, что говорит о постепенном уменьшении роли химического выветривания. Тем не менее эти вариации цикличны — скачкообразное изменение значений АМ повторяется (образцы № 3–5). Начиная с образца № 6 вариации ослабевают и влияние химического выветривания возрастает. В образцах № 8–10 значение модуля сильно уменьшается и сохраняется примерно на одном уровне, что тоже свидетельствует об уменьшении роли химического выветривания.

Щелочной модуль (ЩМ) равен отношению концентрации Na_2O и K_2O и характеризует интенсивность процессов химического выветривания в области размыва. Его величина уменьшается в период усиления выветривания и увеличивается в эпохи его ослабления. Этот модуль часто используют совместно с натриевым и калиевым модулями. Величина этого модуля дает дополнительную информацию об относительной доле глинистого вещества в составе пород [Енгальчев, Панова, 2011].

Как и для АМ, отмечены вариации интенсивности химического выветривания — относительно повышенные значения ЩМ для образцов № 1–3, 8 и 10 свидетельствуют о незначительной роли химического выветривания, значения же для остальных образцов существенно меньше, что свидетельствует об увеличении интенсивности химического выветривания. Резко выделяется значение ЩМ в образце № 9, когда роль химического выветривания была, видимо, очень высока.

Калиевый модуль (КМ) — отношение концентрации K_2O и Al_2O_3 — зависит от интенсивности процессов химического выветривания в области размыва. Калий входит в состав полевых шпатов и накапливается при их разрушении в континентальных отложениях в условиях засушливого климата. Во влажном климате он переносится в виде растворов и взвеси и концентрируется в морских и озерных осадках. Алюминий связан с глинистой частью пород, его содержание в осадках увеличивается в сторону открытого бассейна. Низкие значения калиевого модуля характерны для континентальных осадков, тогда как в прибрежно-морских и пелагических отложениях его значение увеличивается [Енгальчев, Панова, 2011].

Значения КМ в изученных образцах достаточно низкие, что соответствует прибрежно-морской обстановке осадконакопления и относительной близости

области денудации. Значения этого модуля для образцов № 1–6 практически не меняются (преобладает химическое выветривание), а затем следует его резкое снижение, что указывает на увеличение сноса с суши (относительное обмеление бассейна).

Натриевый модуль (НМ) представляет собой отношение содержания Na_2O и Al_2O_3 . Натрий обычно переносится в виде растворов и взвеси, а его максимальная концентрация наблюдается в континентальных отложениях в условиях засушливого климата, а также в морских и озерных осадках в условиях влажного климата. Содержание алюминия в осадках увеличивается при движении в сторону открытого бассейна. Наиболее бедны натрием прибрежно-морские осадки [Енгальчев, Панова, 2011].

Значения НМ для образцов № 2–4, 7, 8, 10 высокие, а для образцов № 1, 5, 6, 9 они значительно меньше, что говорит о вариациях гидродинамики и палеоглубины.

Титановый модуль (ТМ) — отношение содержания TiO_2 и Al_2O_3 , он зависит как от динамической фации седиментации, так и от титанистости петрофонда, поэтому если зафиксировать фациальный фактор, то ТМ служит отличным индикатором петрофонда основного или кислого состава. Разные значения ТМ свидетельствуют о разных климатических обстановках. Гумидные, песчано-алевритовые породы имеют ТМ выше, чем аридные, такое же соотношение наблюдается и для глинистых пород. Использование этого модуля для восстановления климатических особенностей возможно лишь в условиях постоянства источника сноса. В ряде случаев динамическая сортировка материала и состав петрофонда влияют на величину ТМ гораздо сильнее, чем климатический фактор. Резюмируя, можно сказать, что его величина возрастает при переходе из аридной зоны в гумидную, а в пределах последней — по мере движения от глубоководных зон к прибрежно-морским и континентальным фациям [Енгальчев, Панова, 2011].

По значениям ТМ для образцов № 1–6 можно сказать, что осадки накапливались в мелководном бассейне при условиях гумидного климата. Эти выводы, полученные на основе геохимических данных, согласуются с ранее опубликованными данными. Значения модуля для образцов № 7–10 значительно меньше, что не связано с обмелением бассейна и доминированием прибрежно-морских условий осадконакопления, а вызвано сменой гумидного типа климата на аридный.

Концентрация S увеличивается с мористостью или свидетельствует о дефиците кислорода на дне бассейна. В рассмотренных образцах значение содержания серы сильно варьирует, что можно объяснить либо вариациями уровня воды, либо изменением содержания кислорода в придонных водах. Максимальные значения концентрации серы прослеживаются в образцах № 3 и 5 (туронские отложения, последствия события ОАЕ-2), а наименьшие — в образцах № 6, 7 и 9 (коньякские отложения).

Содержание Са и Mg. Увеличение концентрации Са и Mg свидетельствует об аридизации климата, т.е. уменьшении степени увлажнения территорий, что вызывает сокращение биологической продуктивности экосистем за счет снижения разницы между количеством осадков и испарением.

Значения содержания Са в образцах № 1–5 меньше, что говорит об относительно влажном климате, затем в образце № 6 оно резко увеличивается (в 16 раз), это указывает на переходный этап, связанный, скорее всего, с перестройкой климата. Затем значение Са для образцов № 7–10 увеличивается еще в 2 раза по сравнению с образцом № 6, что в 32 раза больше, чем значения этого содержания для образцов № 1–5. Такое распределение Са можно объяснить резкой аридизацией территории.

Отношение Са/Mg. Величина этого отношения уменьшается с увеличением температуры. В исследованных образцах оно приблизительно одинаково, но отмечено аномальное значение для образца № 6. В образцах № 8–10 значения содержания Mg находятся ниже предела обнаружения, поэтому подсчитать его для этого интервала разреза не представляется возможным.

Обсуждение результатов геохимических исследований. Динамика процессов химического выветривания в условиях гумидного климата показана на рис. 4 на графиках АМ и ЩМ, причем его роль возрастает с увеличением значений АМ и с уменьшением значений ЩМ. Видно, что тенденция к усилению этого типа выветривания последовательно сохранялась в течение позднего турона и постепенно пошла на спад в позднем коньяке.

Аридизация климата может быть установлена по росту содержания Са и Mg, однако сопоставление графиков их распределения дает неоднозначную картину — они демонстрируют обратную зависимость (при увеличении содержания Са уменьшается содержание Mg, что, видимо, связано с изменчивым соотношением количества кальцита и доломита). Тем не менее аридные эпохи (относительно высокое содержание Mg) четко противопоставляются гумидным (АМ и ЩМ).

Вариации эвстатического уровня в бассейне можно рассмотреть на графиках ТМ и КМ, они очень похожи по форме, что позволяет с большой уверенностью говорить об увеличении палеоглубины от турона к коньяку. В позднем туроне по значениям КМ выделяются циклические вариации.

Условия нормальной солености подтверждены графиком изменения отношения Ti/Mn, демонстрирующим его низкие значения.

Температурный режим морской воды можно определить по вариациям отношения Са/Mg — на графике видно постепенное потепление от турона к коньяку.

Содержание серы циклически варьирует, что объясняется одновременным изменением палеоглубины и содержанием растворенного в воде кислорода в придонных водах.

В итоге можно утверждать, что на протяжении турона на рассматриваемой территории находился относительно мелководный бассейн, к коньякскому веку его глубина постепенно увеличивалась, а в начале коньякского века он был уже более глубоководным. На протяжении туронского и коньянского веков бассейн имел нормальную соленость. В туроне климат был гумидным, лишь в коньяке началась аридизация климата, которая продолжалась до второй половины коньякского века. Однако относительная аридизация не закончилась, она продолжалась, но была уже не такой значительной. Относительное похолодание в начале турона сменилось потеплением в его конце и сохранением этой тенденции в коньякском веке.

Генезис пластовых циклитов определяли методами «ручного» подсчета и спектрального Фурье-анализа. Кратко остановимся на некоторых ранее опубликованных результатах [Габдуллин, 2002]. Сопоставление 10 шкал геологического времени (табл. 1) ясно показывает, что длительность некоторых веков по данным разных авторов может отличаться в 2 раза и более (впрочем, как и длительность циклов Миланковича). Здесь заложена одна из главных задач, вытекающая из трудностей разрешения проблемы геологического времени — при использовании разных временных шкал циклы одного порядка или генезиса «переходят» в другой порядок или генезис. Например, циклы эксцентриситета продолжительностью около 20 тыс. лет могут стать циклами наклонения эклиптики длительностью около 40 тыс. лет или циклы эксцентриситета 1-го порядка продолжительностью 100 тыс. лет превратятся в циклы 2-го порядка длительностью 400 тыс. лет.

Помимо выбора шкалы времени можно использовать седиментометрический способ — привязывать длительность циклитов к возможной скорости их седиментации. Последняя может быть определена экспериментально или выбрана по аналогии для близких по типу осадков. Такая стратегия имеет смысл для разрезов, содержащих частые гиатусы, точную длительность которых определить затруднительно.

Ручной подсчет. Пример «ручного» подсчета приведен в табл. 2, из данных которой видно, что при делении длительности века (или его части) на число осцилляций получается широкий разброс значений от циклов эклиптики до эксцентриситета. В ряде случаев длительность вариаций не отвечает циклам Миланковича [Габдуллин, 2002].

Спектральный анализ выполнен по ряду параметров для верхнекампанских и нижнемаастрихтских отложений (рис. 5, А) в карьере цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область) [Габдуллин, 2002]. Спектральное Фурье-распределение было привязано к разным исследуемым временным диапазонам (аналог разных шкал времени или различных значений скоростей седиментации) с использованием оригинального программного обеспечения и консультаций С.В. Борисова (биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова). Так, при ско-

Таблица 2

Результаты подсчета по 10 шкалам продолжительности предполагаемых астрономо-климатических циклов для нижнемаастрихтских отложений карьера цементного завода «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область)

Номер шкалы	Продолжительность раннего маастрихта, млн лет	Продолжительность (2/3 раннего маастрихта), млн лет	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 37$ осцилляций биотурбации	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 25$ осцилляций числа ихноценозов	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 29$ осцилляций, максимального диаметра норки (мм) и содержания CaCO_3	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 26$ осцилляций объема пирита и лимонита в норках	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 17$ осцилляций содержания $\text{C}_{\text{орг}}$	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / 36$ осцилляций $\text{H}'\text{cs}$	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{времени}} / \text{среднее число осцилляций (28,4)}$
1	2,5	1,7	45 946 (циклы O_2)	68 000	58 621	65 385	100 000 (циклы E_1)	47 222	59 859
2	4	2,7	72 973	108 000 (циклы E_1)	93 103 (циклы E_1)	103 846 (циклы E_1)	158 823	75 000	95 070
3	4,25	2,8	75 676	112 000 (циклы E_1)	96 552 (циклы E_1)	107 692 (циклы E_1)	164 706	77 778	98 592 (циклы E_1)
4	3,5	2,3	62 162	92 000 (циклы E_1)	79 310	88 462	135 294	63 889	80 986
5	4,5	2,9	78 378	116 000 (циклы E_1)	100 000 (циклы E_1)	111 538 (циклы E_1)	170 588	80 556	102 113 (циклы E_1)
6	5	3,3	89 189	132 000	113 793 (циклы E_1)	126 923	194 117	91 667	116 197 (циклы E_1)
7	4,5	2,9	78 378	116 000 (циклы E_1)	100 000 (циклы E_1)	111 538 (циклы E_1)	170 588	80 556	102 113 (циклы E_1)
8	3	1,9	51 351	76 000	65 517	73 077	111 765 (циклы E_1)	52 778	66 902
9	3,15	2,09	56 486	83 600	72 069	80 385	122 941	58 055	73 592
10	3,15	2,09	56 486	83 600	72 069	80 385	122 941	58 055	73 592

Примечание. Полужирным выделены расчетные значения длительности циклов, близкие к известным.

рости седиментации, равной 2 см/тыс. лет, вариации трех петромагнитных параметров (J_{rs} , J_n , $\text{H}'\text{cs}$) можно связать с циклами эксцентриситета 2-го (0,4 млн лет) и 3-го (1,29 млн лет) порядков (рис. 5, Б). При иных значениях скорости седиментации или по другим параметрам связь этих осцилляций с астрономо-климатическими циклами не прослеживается.

Отсутствие ясной связи циклических вариаций с циклами Миланковича привело авторов к использованию нового метода, не применявшегося ранее.

Вейвлетный анализ. Для уточнения связи конкретных изменений климата и палеогеографических условий с долгопериодными циклами Миланковича на ЭВМ были статистически обработаны циклические кривые вариаций различных параметров. В частности, **впервые** применен вейвлетный спектр — анализ закономерности распределения ряда параметров для интервала поздний кампан — ранний маастрихт:

зона *Belemnella sumensis*, интервал 70,04–69,42 млн лет, образцы № 103–62; зона *Belemnella lanceolata*, интервал 70,67–70,04 млн лет, образцы № 61–45; интервал 77,69–71,29 млн лет (зоны *micronata* и *langei*, взята вторая половина длительности зоны *micronata*, образцы № 51–60) и интервал 80,42–77,69 млн лет (зона *micronata*, взята первая половина длительности зоны *micronata*, образцы № 24–50).

Интервал 71,29–70,67 млн лет отвечает перерыву. При оценке длительности биозон использовалась хроностратиграфическая шкала из работы [Hardenbol et al., 1998].

Многие процессы в окружающем мире нестационарны и демонстрируют изменения статистических характеристик во времени. Анализ соответствующих экспериментальных данных на основе классических вероятностных и спектральных методов (в частности, стандартного традиционного Фурье-анализа) часто

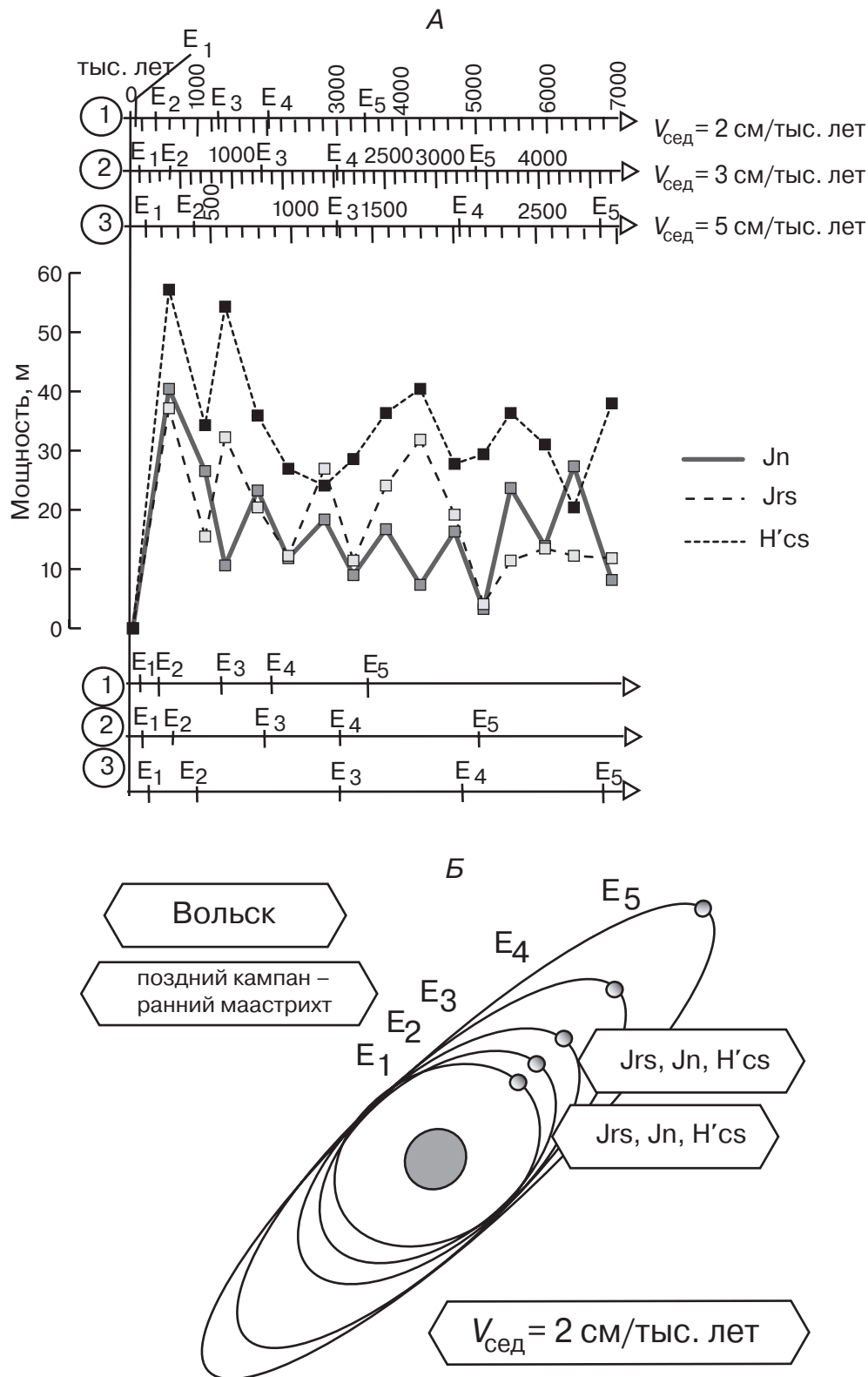


Рис. 5. Спектральное Фурье-распределение ряда параметров в верхнекампанских и нижнемаастрихтских отложениях в разрезе «Большевик» (г. Вольск, Саратовская область) (А) и итоговая диаграмма результатов исследования (Б)

приводит к проблемам при интерпретации полученных результатов. К настоящему времени достигнут значительный прогресс в создании новых, более эффективных методов исследования нестационарных процессов, самый эффективный среди них — вейв-

летный анализ [Короновский, Храмов, 2003; Короновский и др., 2013; Астафьева, 1996]. Первоначально он был предложен в качестве альтернативы классическому спектральному анализу, но почти сразу после появления вейвлетный анализ стали воспринимать

в качестве инструмента для прикладных исследований практически во всех естественных науках и многих областях техники. Основная область применения этого математического аппарата в естествознании — обработка нестационарных (во времени) и/или неоднородных (в пространстве) нестационарных, сложных и хаотических процессов [Руннова и др., 2013; Филатова и др., 2010], для которых вейвлетный анализ дает частотно-временную картину динамики циклов в исследуемом временном ряду.

Именно поэтому вейвлетный анализ представляет значительный интерес для геологов и геофизиков, открывая новые возможности цифровой обработки, в том числе параметрических данных (например, каротажных). При анализе параметрических данных необходимо анализировать короткие (а иногда и сверхкороткие) временные ряды, на длину которых укладывается несколько периодов колебаний той или иной характеристики, анализируемой по разрезу. В такой ситуации использование методов спектрального анализа некорректно из-за влияния эффектов границ короткого временного ряда [Farge et al., 1995], которые могут значительно исказить результаты анализа циклов, наблюдающихся в анализируемом процессе. Поэтому более корректный метод анализа подобных коротких процессов со слабым влиянием краевых эффектов — вейвлетный анализ, который оперирует ограниченным по временной шкале базисом, что ограничивает область влияния краевых эффектов узкой областью вблизи границ временного ряда (ширина области влияния краевых условий определяется анализируемым временным масштабом) [Torgence, Comro, 1998].

Исследование характера распределения естественной остаточной намагниченности J_n (нТл) проводили с использованием непрерывного вейвлетного преобразования [Короновский, Храмов, 2003; Короновский и др., 2013; Астафьева, 1996]. В качестве материнского вейвлета использован стандартный комплексный Морле-вейвлет с параметром центральной частоты $\Omega = 12$. Такой выбор материнской функции обеспечивает улучшенное частотное разрешение вейвлетного преобразования с сохранением неплохого временного разрешения по сравнению с традиционным выбором $\Omega = 2\pi$. Расчет частотно-временных спектров с использованием вейвлетного преобразования проводили численно с использованием программы, разработанной ранее для анализа ритмических компонентов в нестационарных сигналах [Torgence, Comro, 1998].

Временной ряд, полученный с помощью анализа параметрической кривой J_n (нТл), по которой рассчитывался вейвлетный спектр, показан на рис. 6, на нем время отложено по шкале в миллионах лет. Отметим неэквидистантность интервалов между отсчетами ряда, что связано с особенностью осадконакопления во времени. Соответствующий вейвлетный спектр показан на рис. 7, на нем по оси абсцисс отложено время, по оси ординат — временной масштаб

геологических циклов, наблюдающихся в анализируемых данных (в млн лет). Серым цветом на спектре отмечена интенсивность того или иного временного масштаба (белым — колебания с таким периодом не существуют, черным — интенсивность данного ритма в некоторый момент времени максимальна). Длительность анализируемого временного ряда соответствовала ~12 млн лет, минимальная частота дискретизации данных составляла $1,4 \text{ млн лет}^{-1}$, минимальная — $66,6 \text{ млн лет}^{-1}$. Соответственно проанализированы ритмы всего массива параметрических данных в диапазоне временного масштаба $s = [0,4; 8]$ млн лет.

Кроме того, с использованием той же программы рассчитывался интегральный вейвлетный спектр $E(s)$ (скалограмма), представляющий собой усредненный во времени мгновенный вейвлетный спектр [Короновский, Храмов, 2003; Короновский и др., 2013]. Соответствующая скалограмма показана на рис. 8. На ней хорошо видно, что во временном ряду четко прослеживаются циклы длительностью $T_1 = 0,9$ млн лет (при сравнении с рис. 7 можно сделать вывод, что этот ритм наиболее выражен на интервале), $T_2 = 2,2$ млн лет (выражен на интервале 71–73 млн лет) и $T_3 = 7,4$ млн лет, локализацию которого в связи с большим периодом выделить невозможно (длительность ряда 8,5 млн лет). Эти циклы близки по продолжительности к циклам эксцентриситета орбиты Земли 3-го порядка — E_3 (длительность 1,29 млн лет; T_1) и 4-го порядка E_4 (длительность 2,03 млн лет; T_2).

Отметим отрезок временного ряда в области 69,4–70,7 млн лет (ранний маастрихт, зона *Belemnella sumensis*, на рис. 6 выделен рамкой), который характеризуется более коротковолновыми ритмами (рис. 9). Этот отрезок проанализирован с использованием вейвлетного преобразования отдельно. Полученные результаты, представленные в виде скалограммы на рис. 10, показали, что в этом интервале наблюдается несколько ритмов, наиболее выражены из них — 0,04 млн лет (O-циклы, или циклы наклона эклиптики) и 0,4 млн лет (E_2 -циклы, или циклы эксцентриситета 2-го порядка).

Условия седиментации. Обобщив комплекс полученных аналитических и частично статистически обработанных данных, опишем палеогеографическую обстановку для исследованного разреза.

Туронский век. Поздняя эпоха. В туронский век в Ульяновско-Саратовском бассейне в мелководно-морских условиях происходило накопление преимущественно карбонатных илов и терригенных фосфоритоносных осадков [Герасимов и др., 1962]. Приведем характеристику бассейна седиментации.

Состав палеоценоза. Бентосные формы (иглокожие, пелециподы, брахиоподы) и планктон с карбонатным скелетом резко преобладают над нектонными (белемниты, акулы). Следы жизнедеятельности *Planolites* могут принадлежать как иглокожим, так и пелециподам. Следы *Thalassinoides* указывают на присутствие в составе палеоценоза ракообразных.

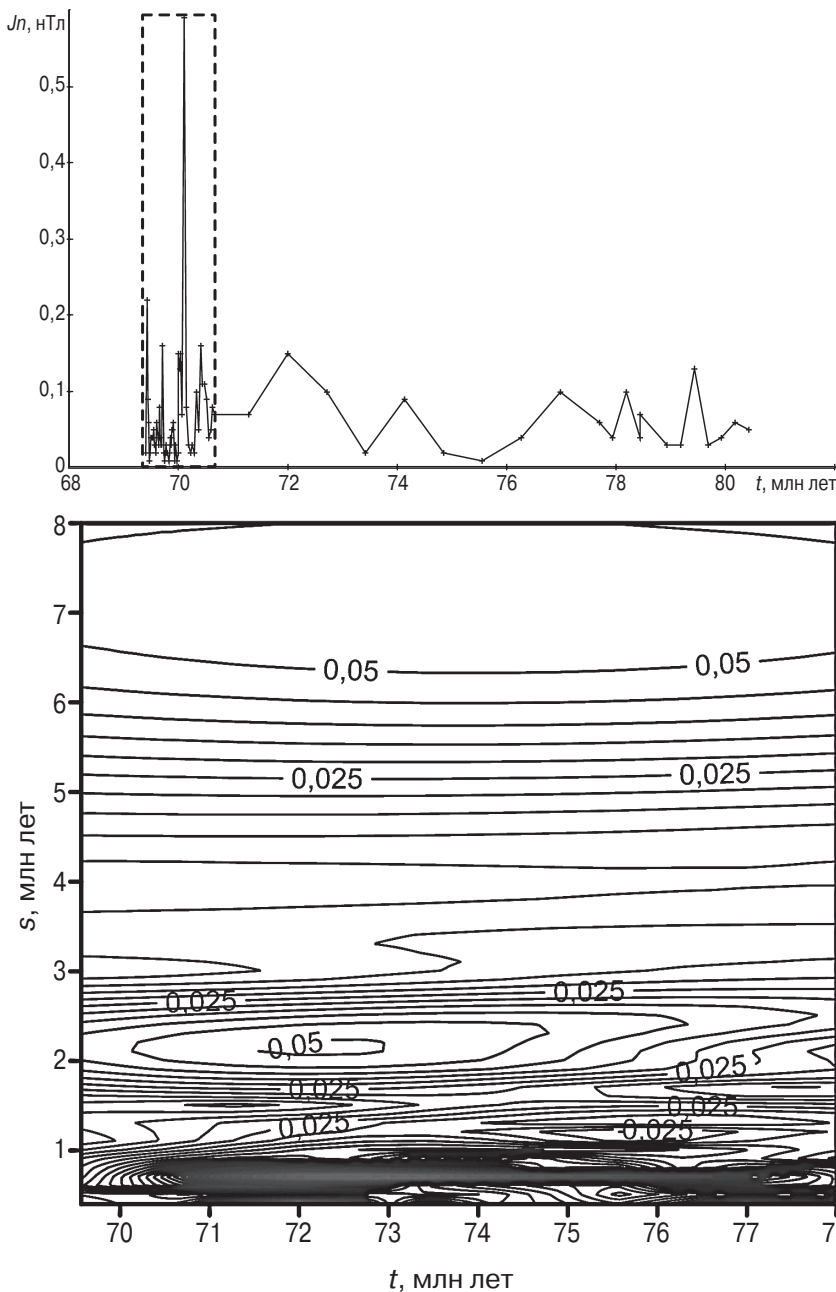


Рис. 7. Вейвлетный спектр, построенный с базовым Морле-вейвлетом ($\Omega = 12$) по данным, представленным на рис. 6

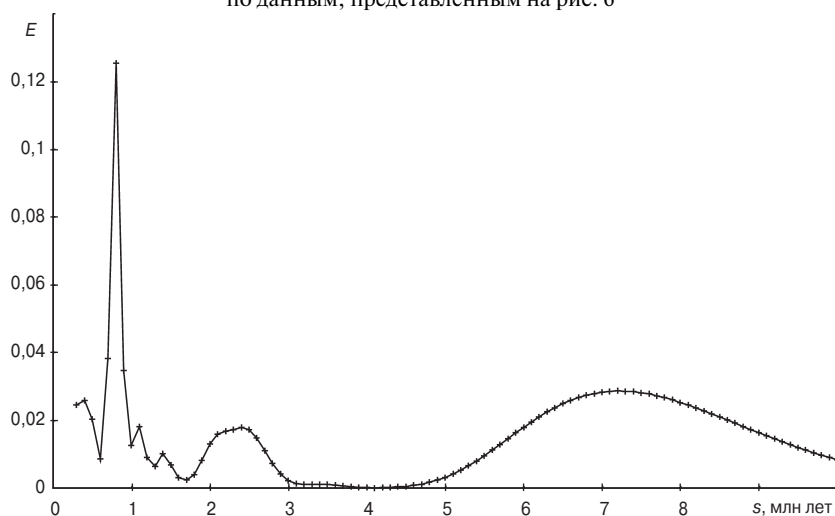


Рис. 6. Отрезок анализируемого временного ряда с параметрическими данными

Глубина. Бассейн был мелководным (подтверждено значениями отношения Ti/Mn , ТМ), однако происходили эвстатические вариации (НМ, ЩМ, ТМ, КМ, концентрация S).

Газовый режим. Обилие иглокожих, ракообразных (следы *Thalassinoides*), хрящевых рыб свидетельствует в пользу нормального содержания растворенного в воде кислорода, однако вариации содержания S указывают на изменение его концентрации.

Соленость. Присутствие иглокожих и брахиопод, а также отношение Ti/Mn подтверждает нормальную соленость бассейна.

Тип субстрата. Присутствие рыхлого субстрата подтверждается находками спатангоидных ежей и ихнофоссилий *Planolites*, *Thalassinoides*, *Chondrites*. Остатки устриц и брахиопод могут указывать на твердый субстрат. Скорее всего, дно бассейна было рыхлым со скальными выступами.

Гидродинамика. Наличие устриц свидетельствует в пользу активных гидродинамических процессов, происходивших в бассейне.

Температура воды [Тейс, Найдин, 1973] во второй половине турона в Саратовском Поволжье по белемнитам оценивается в $14-15^{\circ}C$. Относительно холодные воды постепенно нагревались к коньякскому веку (по содержанию и отношению Ca и Mg), а на смену влажному климату, существовавшему в туроне, в коньяке постепенно пришли аридные условия (судя по значениям ТМ, АМ, ЩМ, содержанию Mg).

Коньякский век. В коньякский век в Ульяновско-Саратовском бассейне происходила преимущественно карбонатная седиментация [Герасимов и др., 1962].

Состав палеоценоза. Биоценоз представлен планктоном с карбонатным скелетом, ракообразными, следами *Thalassinoides*, иноцерамами и морскими ежами. Находки nektonных форм макрофауны здесь неизвестны. Комплекс фораминифер представлен аномалинами. Такой бедный состав сообщества, скорее всего, указывает на неблагоприятные условия окружающей среды.

Рис. 8. Скалограмма вейвлетного спектра всего анализируемого временного ряда

Глубина. Относительно глубоководный бассейн (подтверждено значениями отношения Ti/Mn , ТМ), однако происходили эвстатические вариации (НМ, ЩМ, ТМ, КМ, концентрация S).

Соленость. Присутствие ракообразных (следы *Thalassinoides*) и редких пелеципод, а также значения отношения Ti/Mn подтверждают предположение о нормальной солености палеобассейна.

Газовый режим. Следы ракообразных (*Thalassinoides*) свидетельствуют в пользу нормального содержания растворенного в воде кислорода, в то же время следы *Chondrites* указывают на восстановительную среду. В разрезе встречаются пиритовые конкреции, что свидетельствует о дефиците растворенного в воде кислорода. Вариации распределения ихнофоссилий и концентрации $C_{орг}$ указывают на флуктуации газового режима, что также подтверждается вариацией содержания S.

Тип субстрата. Рыхлый, мягкий субстрат необходим для существования спатангоидных ежей рода *Micraster*. Рыхлость субстрата дна бассейна также подтверждается находками ихнофоссилий *Thalassinoides*, *Chondrites*. Иноцерамы могут заселять разные типы грунтов. Дно бассейна, скорее всего, было рыхлым.

Гидродинамика. Присутствие в бассейне масс воды с дефицитом кислорода свидетельствует о стагнации, нарушении циркуляции в нем.

Температура бассейна на Русской плите в позднем коньяке [Тейс, Найдин, 1973] по белемнитам составляла 13–15 °С, тем не менее по геохимическим данным воды в коньякском веке были теплее, чем в туронском (содержание и отношение Са и Mg). С начала коньякского века происходила аридизация климата (ТМ, АМ, ЩМ, содержание Mg).

В разрезе туронских и коньякских отложений визуально цикличность не установлена, однако имели место эвстатические вариации и флуктуации газового режима.

Кампанский век, поздняя эпоха. В кампанский век в Ульяновско-Саратовском бассейне преобладала карбонатная седиментация. На юге Ульяновско-Саратовского прогиба в мелководно-морских условиях проходило формирование кремнисто-терригенных осадков, в остальной части — карбонатных осадков.

Фаза *Belemnitella mucronata*, состав палеоценоза. Планктон с карбонатным скелетом. Бедный комплекс макрофоссилий, представленный бентосными формами — несколькими видами иглокожих, пелеципод (иноцерам) и белемнитов.

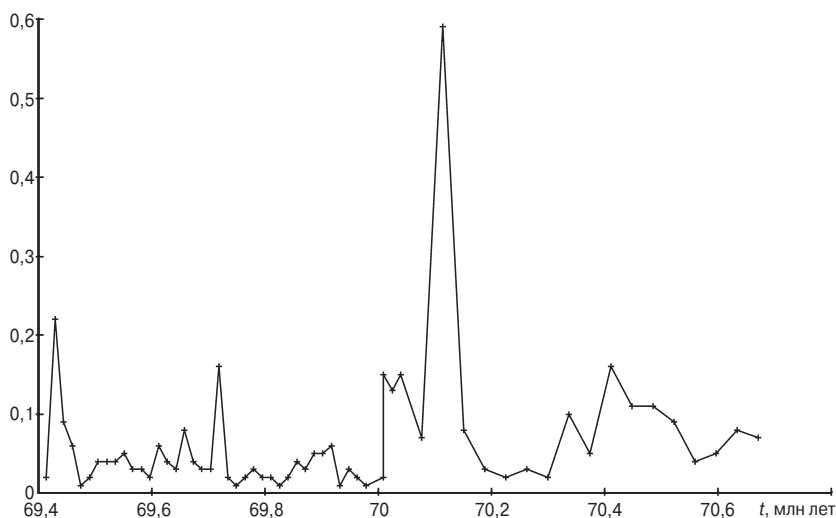


Рис. 9. Фрагмент временного ряда с параметрическими данными, соответствующими области, которая выделена рамкой на рис. 1

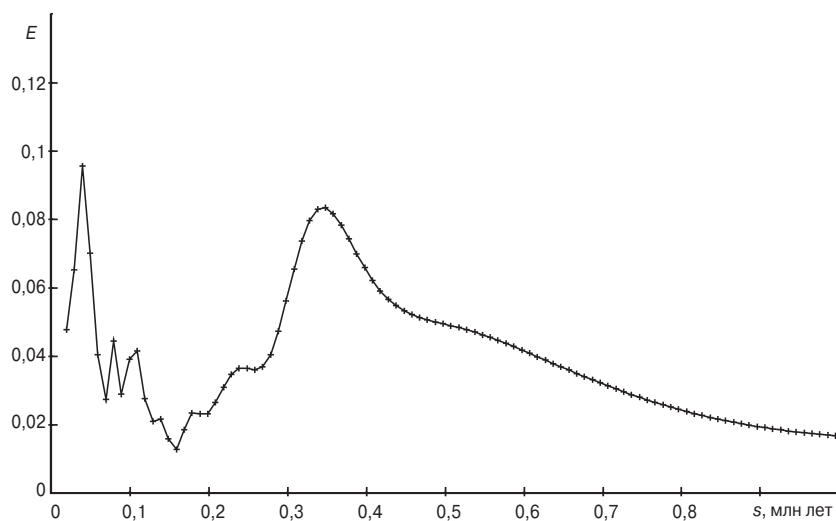


Рис. 10. Скалограмма вейвлетного спектра фрагмента временного ряда, соответствующего динамике в период 69–71 млн лет (см. на рис. 9)

Глубина. По данным Н.А. Бондаренко [1990], эти отложения накапливались в пелагиали.

Газовый режим. Незначительные вариации газового режима следуют из цикличного распределения концентрации $C_{орг}$, объема биотурбации, присутствия в разрезе пиритовых конкреций.

Тип субстрата. Бентосные организмы представлены спатангоидными ежами, обитавшими в рыхлом, илистом грунте, и иноцеррами, заселявшими все типы грунта. Следовательно, скорее всего, грунт был мягким и илистым.

Температура. В результате определения температуры по рострам белемнитов [Тейс, Найдин, 1973] получены данные, согласно которым температура в бассейне составляла 13–14 °С.

Данные о солености и гидродинамике палеобассейна отсутствуют.

Формирование ритмичности в разрезе карьера цементного завода «Большевик». Практически полное

отсутствие привноса магнитных терригенных минералов [Габдуллин и др., 1998] подтверждается низкими значениями петромагнитных параметров и отсутствием осцилляций на большинстве кривых петромагнитных параметров. Признаки, свидетельствующие о растворении CaCO_3 , не установлены. Таким образом, циклы растворения и разбавления не могли быть механизмами формирования ритмов. Скорее всего, происхождение 10 ритмов типа 1 связано с циклами биопродуктивности (в бассейне с карбонатной седиментацией) и вариациями климата.

Оценка связи ритмов с циклами Миланковича методом спектрального анализа позволила выделить циклы эксцентриситета E_2 и E_3 по Jrs, Jn, H'cs при $V_{\text{сед}} = 2 \text{ см}/1000 \text{ лет}$ в интервале с позднего кампана по ранний маастрихт. В этом же интервале методом вейвлетного анализа получены значения их длительности, близкие по продолжительности к циклам эксцентриситета орбиты Земли 3-го порядка — E_3 (длительность 1,29 млн лет) и 4-го порядка E_4 (длительность 2,03 млн лет).

Фаза *Belemnitella mucronata* — фаза *Belemnitella langei*, состав палеоценоза. Планктон имел карбонатный скелет, встречаются нектонные формы, представленные белемнитами и аммонитами. На их фоне резко доминируют бентосные формы: кораллы, лопатоногие и двустворчатые моллюски, брахиоподы и иглокожие (всего 7 родов, 7 видов). Присутствие пелиципод подтверждается следами *Teichnichus*, а следы *Thalassinoides* указывают на присутствие в биоценозе ракообразных.

Глубина. В рассматриваемых отложениях встречен комплекс макрофоссилий, представленный двумя видами иноцерам. Отложения формировались в пелагиали [Бондаренко, 1990].

Соленость. Кораллы, найденные в отложениях этой пачки, безусловно, свидетельствуют в пользу нормальной солености в бассейне седиментации. Отметим присутствие остатков стеногалинных иглокожих, ракообразных (следы *Thalassinoides*).

Газовый режим. Присутствие пиритовых конкреций и ихнофоссилий *Chondrites* указывает на восстановительную среду, однако есть находки одиночных кораллов. Слабые флуктуации концентрации растворенного в воде кислорода подтверждаются циклическим распределением концентрации $C_{\text{орг}}$ и объема биотурбации.

Температура. Присутствие кораллов указывает на достаточную теплопроводность бассейна. По определению температуры в рострах белемнитов [Тейс, Найдин, 1973] получены значения, равные 14–16 °С.

Тип субстрата. На рыхлый субстрат указывает присутствие в огромном количестве панцирей спатангоидных ежей («микрастрowo кладбище») — *Micraster grimmensis* и *Coraster cubanicus*, а также раковин лопатоногих моллюсков *Dentalium* и ихнофоссилий *Teichnichus*, *Thalassinoides*, *Chondrites*, циклически распределенных по разрезу. Твердый субстрат необ-

ходим для обитания кораллов *Parasmilia* и двустворчатых моллюсков *Spondylus*. Таким образом, скорее всего, дно бассейна было рыхлым со скальными выступами.

Гидродинамика. Находки одиночных кораллов свидетельствуют об условиях с активной гидродинамикой.

Моделирование условий седиментации. Генезис 3-х ритмов типа 2 связан с циклами биопродуктивности (в бассейне с карбонатной седиментацией) и вариациями климата.

Маастрихтский век. Ранняя эпоха. На юге Ульяновско-Саратовского прогиба в мелководно-морских условиях проходило формирование кремнисто-терригенных осадков, в остальной части — карбонатных осадков.

Фаза *Belemnella lanceolata*, состав палеоценоза. Палеоценоз с преобладанием планктона с карбонатным скелетом и бентосных форм макрофоссилий над нектонными макрофоссилиями. Следы *Planolites* могут принадлежать пелициподам, гастроподам и иглокожим, а следы *Thalassinoides* указывают на присутствие ракообразных.

Соленость. В отложениях присутствуют губки (*Ventriculites*), живущие в условиях нормальной солености.

Газовый режим. Наличие пиритовых конкреций свидетельствует о восстановительных условиях. В то же время в скудном биоценозе присутствуют стенооксидные губки и эвриоксидные устрицы. Возможно, имели место слабые вариации газового режима, подтвержденные ритмичным распределением ихнофоссилий (объемом биотурбации) и концентрацией $C_{\text{орг}}$

Тип субстрата. Спатангоиды (*Echinocorys*), цидароиды и ракообразные (следы *Thalassinoides*) обитают в рыхлом и мягком грунте. Твердый субстрат благоприятен для губок и теребратуллитид. Брюхоногие моллюски безразличны к типу субстрата. Дно, скорее всего, было илистым со скальными выступами.

Гидродинамика. Присутствие устриц и губок свидетельствует об активных гидродинамических процессах (течениях).

Глубина. По данным Н.А. Бондаренко [Бондаренко, 1990], эти отложения накапливались в пелагиали (т.е. глубже 130–200 м). Губки венстрикулитиды обитают на глубине от нескольких сотен метров до 6 км. Устрицы рода *Ostrea* обычно обитают на глубине 40–100 м. Ежи цидароиды заселяют глубину 75–100 м (иногда до 4 км), где питаются губками. Таким образом, ежи цидароиды и губки, скорее всего, сосуществовали. На наш взгляд, глубина бассейна могла составлять >100 м (нижняя сублитораль–батыаль). Сравнительно мелководные формы (например, пектениды), скорее всего, аллохтонные.

Температура в разрезе у г. Хвалынский, по данным работы [Тейс, Найдин, 1973], оценивается в 12,9 °С.

Формирование ритмичности. Предполагается почти полное отсутствие привноса магнитных терригенных минералов, что подтверждается низкими значениями

и отсутствием осцилляций на большинстве кривых петромагнитных параметров. Корреляция между значениями Jrs и $H'cs$ не подсчитана, так как $Jrs = 0$. Отсутствуют данные о стратификации вод в бассейне. Предполагается, что формирование ритмов типа 1 [Gabdullin, 1998] связано с циклами биопродуктивности в относительно глубоководном бассейне с карбонатной седиментацией.

Фаза *Belemnella sumensis*, состав палеоценоза.

Планктон с карбонатным скелетом, бентосные формы преобладают над макрофоссилиями и над нектонными макрофоссилиями. Присутствие пелиципод подтверждается следами *Teichnichus*. Следы *Thalassinoides* информируют об обитавших в то время ракообразных.

Глубина. По данным Н.А. Бондаренко [1990], эти отложения накапливались в пелагиали. В рассматриваемых отложениях встречен комплекс макрофоссилий, в том числе представленный устрицами *Ostrea* (40–100 м), пектенидами *Janira* (2–50 м), цидароидами *Cidaris*, *Salenia* (75–100 м). Глубина бассейна, видимо, составляла 40–70 м (сублитораль). Скорее всего, на дне имелись скальные выступы, к которым прикреплялись кораллы, пектениды, теребратуллиды. Они представляли собой «верхний ярус» сообщества. Анализ палеоэкологии современных морских безпозвоночных показывает, что в любом биоценозе существует «ярусность» распределения организмов. На наш взгляд, ошибочно было бы считать, что дно бассейна всегда было ровным, а такие члены сообщества, как кораллы (прикрепленный бентос) и пектениды, находились в аллохтонном залегании (более чем на 100 м ниже места обитания).

Соленость. В отложениях присутствуют стеногалинные плевротомарии и кораллы, обитающие в условиях нормальной солености. Устрицы рода *Ostrea* обитают при солености воды 12–30‰ и не переносят ее повышение. Таким образом, можно сделать предположение о нормальной солености палеобассейна.

Газовый режим. Присутствие пиритовых конкреций свидетельствует об условиях дефицита кислорода, растворенного в воде. В то же время в отложениях присутствуют стенооксидные пектениды, кораллы, губки и эвриоксидные устрицы (*Ostrea*). Возможно, имели место слабые флуктуации газового режима, подтвержденные циклическим распределением ихнофоссилий (объемом биотурбации) и концентрации C_{org}

Температура. Биоценоз содержит теплолюбивые кораллы (*Cylicosmilia*) и устрицы рода *Ostrea* (0–32 °С). Пектениды (*Janira*) обитают при температуре от 8,8 до 23,5 °С. Следовательно, можно приблизительно оценить температуру воды в палеобассейне в 23,5 °С и менее.

Тип субстрата. Цидароиды (*Cidaris*, *Salenia*) обычно селятся на илистых грунтах, внутри рыхлого осадка в норах обитают спатангоиды и ракообразные (следы *Thalassinoides*). Твердый субстрат необходим кораллам, пелициподам *Spondylus*, благоприятен для пектенид и

теребратуллид. Остальные члены сообщества (брюхоногие моллюски) могли быть безразличны к типу грунта. Дно было илистым со скальными выступами.

Гидродинамика. Присутствие устриц и пектенид свидетельствует об активных гидродинамических процессах (течениях).

Формирование ритмичности. Предполагается почти полное отсутствие привноса магнитных терригенных минералов, так как установлены низкие значения петромагнитных параметров и отсутствие осцилляций на большинстве кривых их распределения (рис. 3). Корреляция Jrs и $H'cs$ не подсчитана, так как $Jrs = 0$.

Проверка связи ритмов нижнего маастрихта с циклами Миланковича методом спектрального анализа (рис. 5) позволила выделить циклы эксцентриситета E_2 и E_3 и циклы E_1 методом ручного подсчета среднего числа осцилляций параметров (совпадение по 2 шкалам времени из 10, т.е. 20%, табл. 2). В качестве эксперимента вручную было подсчитано число пиков (осцилляций) для отдельных параметров, чтобы затем оценить продолжительность этих осцилляций в раннем маастрихте по 10 шкалам времени. В результате установлены циклы E_1 по числу ихнотаксонов и концентрации $CaCO_3$ (совпадение 40%), по распределению пиритовых конкреций (совпадение 30%), C_{org} (совпадение 20%), $H'cs$ (совпадение 10%), а также и O-циклы (эклиптики) по площади биотурбированных пород и $H'cs$ (совпадение 20%), концентрации $CaCO_3$ (совпадение 10%). Можно констатировать, что среднее арифметическое от числа пиков ряда параметров не всегда отображает возможные астрономо-климатические циклы.

Методом вейвлетного анализа для зоны *Belemnella sumensis* установлены O-циклы (циклы наклона эклиптики) и E_2 -циклы (циклы эксцентриситета 2-го порядка). Кроме того, для всего позднекампанского—раннемаастрихтского интервала выделены циклы, близкие по продолжительности к циклам эксцентриситета орбиты Земли 3-го порядка — E_3 (длительность 1,29 млн лет) и 4-го порядка E_4 (длительность 2,03 млн лет).

В итоге O-циклы подтверждены методами ручного подсчета и вейвлетным анализом, а циклы E_3 — спектральным и, возможно, вейвлетным анализами. Остальные циклы эксцентриситета 1, 3 и 4-го порядков подтверждены только одним из трех методов.

Следовательно, существуют предпосылки для модели, объясняющей формирование циклитов типа 1 с позиции климатических вариаций, вызывавших циклы биопродуктивности.

Заключение. В итоге проведенного комплексного исследования впервые с большой долей вероятности детально реконструирована обстановка седиментации разреза отложений в окрестностях г. Вольск. Для визуально ациклического турон-коньякского интервала разреза по комплексу новых геохимических данных выявлены эвстатические флуктуации и вариации

газового режима. В циклично построенной кампан-маастрихтской толще выделены типы циклитов и предложены механизмы их генерации, тесно связанные с астрономо-климатическими циклами Миланковича. Впервые для разреза в окрестностях г. Вольск типы циклов Миланковича определены тремя метода-

ми — ручным подсчетом, спектральным и вейвлетным анализами. Результаты этих методов скоррелированы между собой и обсуждены. Для зоны *Belemnella submensis* с большой долей вероятности установлены циклы наклона эклиптики (О-циклы) и циклы эксцентриситета второго порядка (E₂-циклы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С., Олферьев А.Г., Шик С.М.* Объяснительная записка к унифицированным стратиграфическим схемам верхнего мела Восточно-Европейской платформы. СПб., 1995. С. 1–58.
- Архангельский А.Д.* Верхнемеловые отложения востока Европейской России // Мат-лы для геологии России. Т. XXV. Изд-во Импер. минер. об-ва, 1912. С. 138–353.
- Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физ. наук. 1996. Вып. 166 (11). С. 1145–1170.
- Ахлестина Е.Ф., Иванов А.В.* Кремниевые породы мела и палеогена Поволжья. М.: Изд. дом «Камертон», 2009. 210 с.
- Бондаренко Н.А.* Стратиграфия и условия седиментации сантонских, кампанских и маастрихтских отложений правобережья Нижнего Поволжья: Автореф. канд. дисс. Саратов, 1990.
- Волго-Уральская нефтеносная область. Юрские и меловые отложения. Л.: Гостоптехиздат, 1959. С. 8–352.
- Габдуллин Р.Р.* Верхнемеловые отложения Русской плиты: секвентная стратиграфия и циклы Миланковича // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 5. С. 16–25.
- Габдуллин Р.Р.* Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма (строение, классификация, модели формирования). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 304 с.
- Габдуллин Р.Р., Гужиков А.Ю., Выдрик А.Б., Дундин И.А.* Условия формирования ритмичности в верхнемеловых карбонатных породах карьера «Большевик» (Вольск, Саратовская область) // Тез. докл. междунар. науч. конф., посвященной памяти профессора В.В. Тикшаева, 20–22 января 1998 г. Саратов: НВНИИГГ, 1998. С. 41.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* Комплексное изучение ритмичности карбонатных толщ на примере верхнемеловых отложений Ульяновско-Саратовского прогиба // Тр. НИИ геологии Сарат. ун-та. Нов. сер. 2001. Т. 8. С. 69–90.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* О гетерохронности верхнемеловых карбонатных отложений Русской плиты // Изв. вузов. Геология и разведка. 2003а. № 6. С. 3–18.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* Результаты изучения ритмичности осадконакопления на севере Ульяновско-Саратовского бассейна в поздне меловое и раннепалеоценовое время // Недра Поволжья и Прикаспия. 2003б. Вып. 33. С. 24–30.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* Ритмичность карбонатных толщ. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2002. 52 с.
- Герасимов П.А., Мигачева Е.Е., Найдин Д.П., Стерлин Б.П.* Юрские и меловые отложения Русской платформы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. С. 88–181.
- Глазунова А.Е.* Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел. М.: Недра, 1972. С. 7–41.
- Енгальчев С.Ю., Панова Е.Г.* Геохимия и генезис песчаников восточной части главного девонского поля на северо-западе Русской плиты // Литосфера. 2011. № 5. С. 16–29.
- Камышёва-Елпатьевская В.Г.* Атлас мезозойской фауны и спорово-пыльцевых комплексов нижнего Поволжья и сопредельных областей. Вып. 1. Общая часть. Фораминиферы. Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 1967. 257 с.
- Короновский А.А., Макаров В.А., Павлов А.Н.* и др. Вейвлеты в нейродинамике и нейрофизиологии. М.: Физматлит, 2013.
- Короновский А.А., Храмов А.Е.* Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматлит, 2003.
- Матесова М.Н.* Геологические экскурсии в окрестности города Вольска // Тр. Вольского окружного научно-образовательного музея. Вып. 3. Вольск, 1930. 56 с.
- Матесова М.Н.* Полезные ископаемые Вольского Поволжья. Ч. 1 // Тр. Вольского окружного научно-образовательного музея. Вып. 4. Вольск, 1935. 68 с.
- Милановский Е.В.* Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. Л.: Гостоптехиздат, 1940. 276 с.
- Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В.* и др. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Ст. 1. Разрез карьера «Большевик» в окрестности Вольска // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009а. Т. 84, вып. 2. С. 5–22.
- Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В.* и др. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 2. Биостратиграфическое расчленение разреза // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009б. Т. 84, вып. 4. С. 29–46.
- Руннова А.Е., Короновский А.А., Храмов А.Е.* Программа для анализа характеристик различных компонент сигналов сейсмической разведки с использованием вейвлетного преобразования. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610803, 2013 // Правообладатель: ФГБОУ ВПО СГУ имени Ю.А. Гагарина // Официальный бюллетень реестра программ для ЭВМ. М. 09.01.2013.
- Руннова А.Е., Храмов А.Е., Короновский А.А.* и др. Вейвлеты в геофизике: обработка сигналов в сейсморазведке. М.: Изд-во «Университетская книга», 2013.
- Сельцер В.Б., Иванов А.В.* Атлас поздне меловых аммонитов Саратовского Поволжья. М.: Кн. дом «Университет», 2010. 152 с.
- Тейс Р.В., Найдин Д.П.* Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органогенных карбонатов. М.: Наука, 1973. 254 с.
- Филатова А.Е., Артемьев А.Е., Короновский А.А.* и др. Успехи и перспективы применения вейвлетных преобразований для анализа нестационарных нелинейных данных в современной геофизике // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2010. Вып. 18, № 3. С. 3–23.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Геохимические индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
- Якушин Л.Н., Иванов А.В.* Краткий атлас поздне меловых двустворчатых моллюсков (*Pectinoida*, *Ostreoida*) юго-востока Восточно-Европейской платформы. Саратов: Научная книга, 2001. 116 с.
- Яночкина З.А., Гуцаки В.А., Иванов А.В.* и др. Литолого-фациальные особенности отложений позднего фанерозоя

юго-востока Восточно-Европейской платформы / Ред. З.А. Яночкина, А.В. Иванов. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. 114 с.

Farge M., Hunt J.C.R., Vassilicos J.C. Wavelets, fractals and fourier transforms. Oxford: Oxford University Press, 1995.

Gabdullin R. Rhythmically bedded carbonates: below and above K/T boundary // Abstr. of Final Meeting of INTAS PROJECT 1994–1414. Moscow, March 23–25, 1998. P. 13.

Hardenbol J., Thierry J., Farley M.B. et al. Cretaceous bio-chronostratigraphy. Mesozoic and cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European Basins // SEPM Spec. Publ. 1998. Vol. 60. Ch. 5.

Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Meteorolog. Soc. 1998. Vol. 79. P. 61.

Поступила в редакцию
11.03.2014