

УДК 553.143 (470.42):551.763.333

Р.Р. Габдуллин<sup>1</sup>, Е.Н. Самарин<sup>2</sup>, А.В. Иванов<sup>3</sup>, Н.В. Бадудина<sup>4</sup>,  
В.И. Киселев<sup>5</sup>, А.Ю. Юрченко<sup>6</sup>, Т.И. Нигмаджанов<sup>7</sup>

## ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ, ПЕТРОМАГНИТНАЯ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В УЛЬЯНОВСКО-САРАТОВСКОМ ПРОГИБЕ В КАМПАНЕ–ЗЕЛАНДИИ<sup>8</sup>

Представлены результаты комплексного изучения карбонатного разреза верхнего мела в карьере цементного завода г. Сенгилей (Ульяновская область). Представлено описание циклической пачки опок нижнего палеоцена. Для верхнемеловых циклических и скрытоциклических, а также циклических нижнепалеоценовых отложений с применением комплекса литологических, петрографических, петромагнитных, геохимических и палеоэкологических методов впервые реконструированы условия их формирования. Фактором, формирующим циклическую пачку, стали циклы разбавления в условиях флуктуации климата и эвстатических вариаций, вызванных циклами эксцентриситета земной орбиты. Последние установлены в скрыторитмичной ланцеолятовой толще отложений нижнего маастрихта.

*Ключевые слова:* циклическая пачка, карбонатные и кремнистые толщи, верхнемеловые и нижнепалеоценовые отложения, Ульяновско-Саратовский бассейн, циклы разбавления, циклы Миланковича, литолого-геохимические методы, петромагнетизм, палеоэкология.

Results of the complex research of the carbonate rhythmically bedded section of the cement factory quarry of the Sengeley town of the Ulyanovsk province are presented. Description of cyclically bedded silicious member of Lower Paleocene is presented. For rhythmic and cryptorhythmic Upper Cretaceous and also cyclic Lower Paleocene deposits conditions of its origin by use of a complex of methods including lithological, petrographic, petromagnetic, geochemical, chemical and paleoecological ones, are reconstructed for the first time. Dilution and eustatic cycles, caused by eccentricity cycles of the Earth's orbit became an agent forming rhythmicity. The last are determined in the cryptorhythmic *lanceolata* member of the Lower Maastrichtian.

*Key words:* cyclicity, carbonates and silicities, Upper Cretaceous and Lower Paleocene deposits, Ulyanovsk-Saratov basin, Milancovich cycles, lithologic-geochemical methods and petromagnetism, paleoecology.

**Введение.** Впервые с применением комплекса методов (включая геохимические) детально исследован ритмично построенный верхнемеловой карбонатный разрез в карьере Сенгилейского цементного завода в окрестностях г. Сенгилей

(Ульяновская область) путем комплексирования литолого-геохимических, палеоэкологических и петромагнитных методов. Такой подход дал неожиданный результат — в визуально аритмичной пачке писчего мела установлена скрытая ритмичность

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

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

<sup>3</sup> Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, факультет экологии и сервиса, лаборатория инженерной геоэкологии, декан, доцент; *e-mail:* yashkovia@mail.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, науч. с.; *e-mail:* nvbadulina@mail.ru

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант, *e-mail:* kiselev-vlad@list.ru

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; *e-mail:* annette1988@inbox.ru

<sup>7</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант, *e-mail:* tniomadjanov@gmail.com

<sup>8</sup> Работа поддержана грантами Министерства образования и науки (проекты № СГТУ-141 и СГТУ-146), Программой стратегического развития СГТУ имени Ю.А. Гагарина на 2012–2016 гг. (тема 2.1.6 «Развитие учебно-научной лаборатории инженерной геоэкологии»), а также грантами РФФИ (проекты № 15-05-0499 и 15-05-03004). Научные результаты получены с использованием комплекса оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов «Delta V Advantage», приобретенного по Программе развития МГУ.

по циклическому распределению замеренных параметров.

**Методика исследований.** Объектом исследования стали пограничные мел-палеогеновые отложения разреза в окрестностях г. Сенгилей (рис. 1). Из разреза отобран 151 образец горных пород (рис. 2), которые исследованы с применением химических (содержание органического углерода, карбоната кальция), петрографических (макроскопически на разрезе и микроскопически в шлифах), палеонтологических (анализ ихнофоссилий — установление площади биотурбированных пород, максимального диаметра норок, ихнотаксонов) и петромагнитных (разрушающее поле остаточной намагниченности насыщения, естественная остаточная намагниченность насыщения) методов. Разрез в разной степени исследован ранее комплексом петрографических, химических, физических, петромагнитных и палеонтологических методов, описание этих методов и полученные с их помощью результаты опубликованы в серии

работ [Gabdullin et al., 1999; Габдуллин и др., 1999; Габдуллин, Иванов, 2001; Габдуллин, 2002].

Здесь приводятся результаты доизучения отложений этого разреза другим комплексом методов.

Впервые выполнен полный *геохимический анализ элементов* для 32 образцов преимущественно карбонатных (и в меньшей степени терригенно-карбонатных) горных пород на рентгено-флуоресцентном спектрокане MARC. GV (НПО «Спектрон», Санкт-Петербург) на кафедре инженерной геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (аналитик Е.Н. Самарин). Затем подсчитаны соотношения и концентрация некоторых химических элементов, которые указывают на изменение условий осадконакопления (глубина бассейна, гидродинамика, климат и др.), что позволило уточнить сформулированные ранее представления о режиме седиментации.

*Анализ изотопного состава углерода и кислорода карбонатов, палеотермометрия.* Изотопный

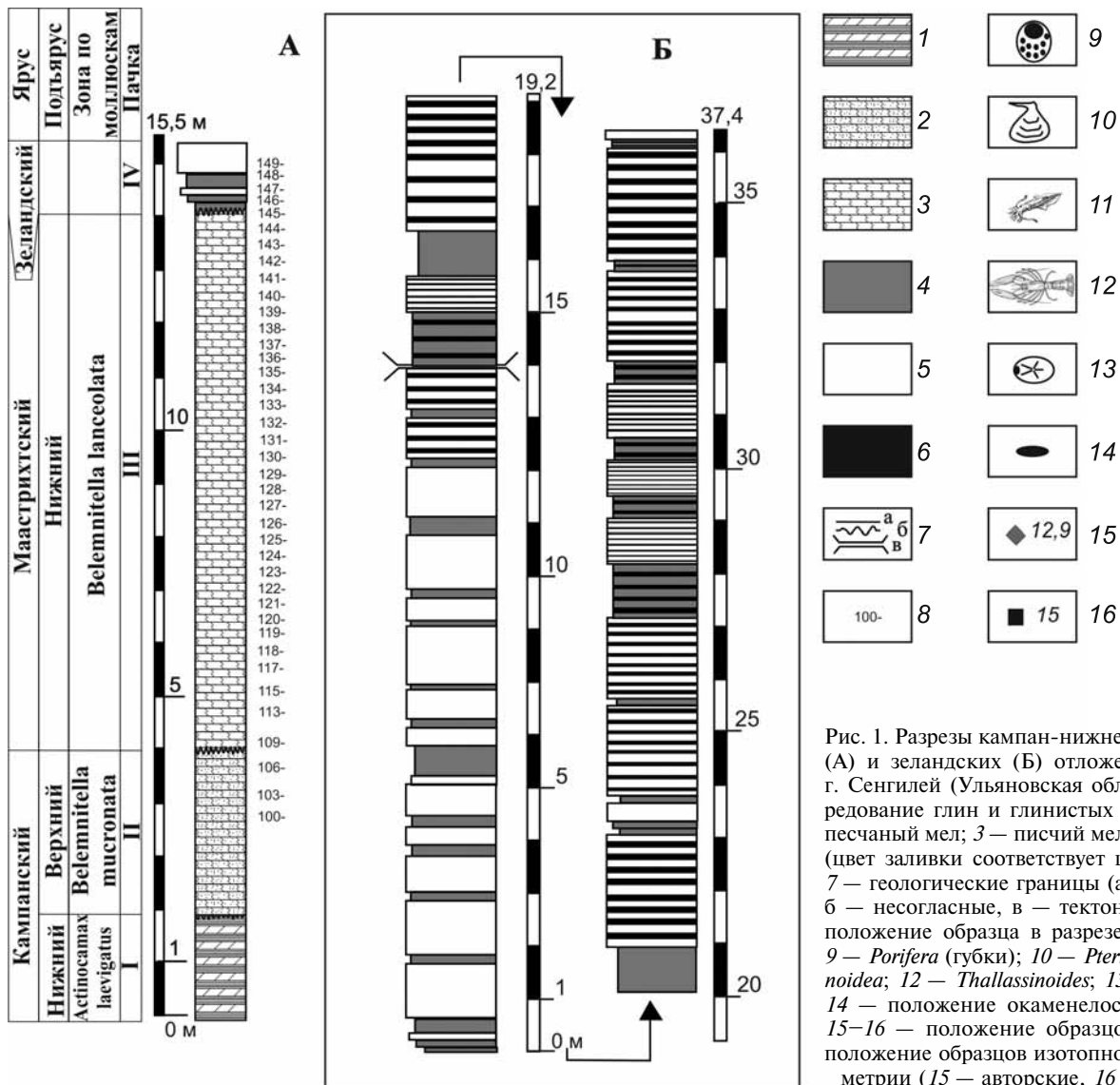


Рис. 1. Разрезы кампан-нижнемаастрихтских (А) и зеландских (Б) отложений в районе г. Сенгилей (Ульяновская область): 1 — чередование глин и глинистых мергелей; 2 — песчаный мел; 3 — писчий мел; 4–6 — опоки (цвет заливки соответствует цвету породы); 7 — геологические границы (а — согласные, б — несогласные, в — тектонические); 8 — положение образца в разрезе и его номер; 9 — *Porifera* (губки); 10 — *Pteria*; 11 — *Belemnoidea*; 12 — *Thalassinoides*; 13 — *Echinoidea*; 14 — положение окаменелостей в разрезе; 15–16 — положение образцов изотопной палеотермометрии (15 — авторские, 16 — архивные)

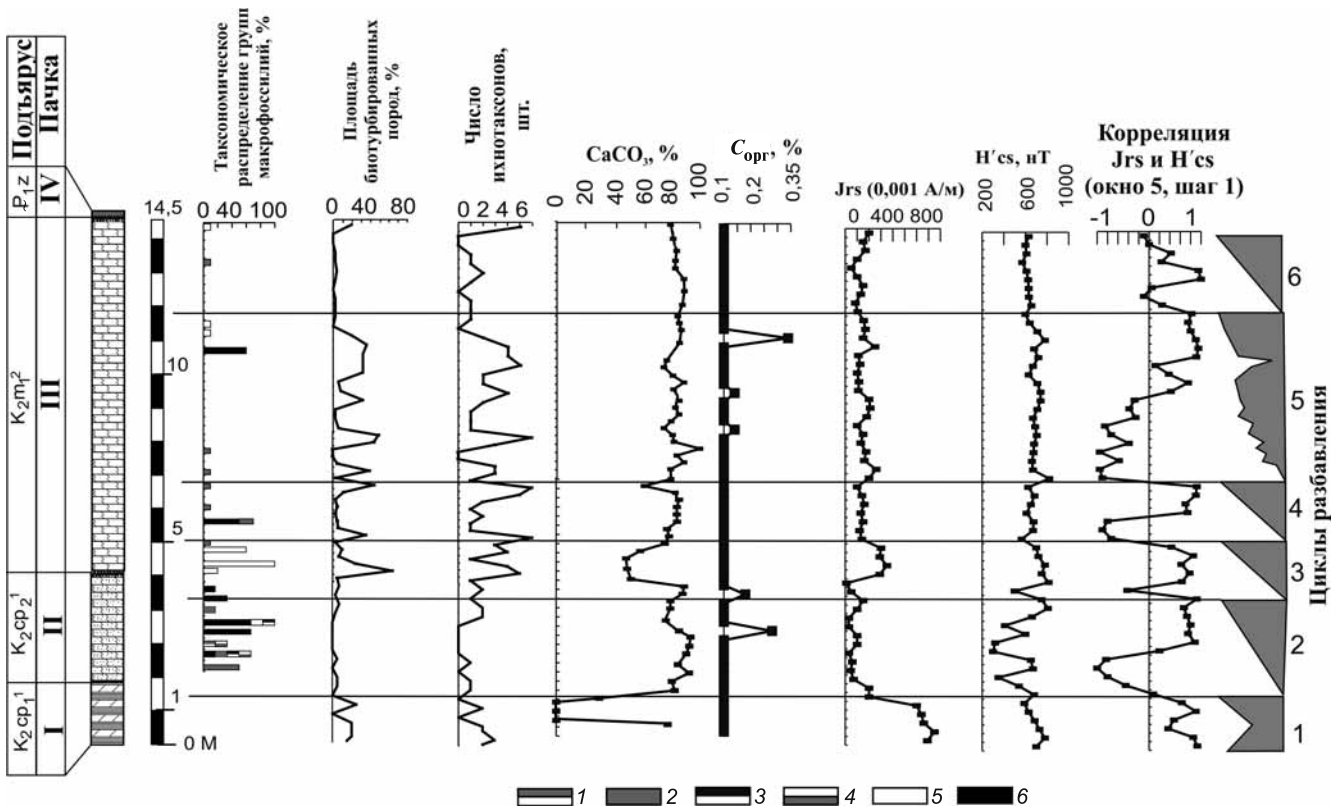


Рис. 2. Циклическое распределение таксономических групп макрофоссилий, площади биотурбированных пород, ихнотаксонов, содержания карбоната кальция, органического углерода, остаточной намагниченности насыщения, разрушающего поля остаточной намагниченности и их корреляции, механизм формирования крипторитмичных верхнекампанских–нижнемаастрихских отложений в карьере Сенгилейского цементного завода (г. Сенгилей, Ульяновская область): 1 – гастроподы, 2 – двустворки, 3 – губки, 4 – брахиоподы, 5 – морские ежи, 6 – белемниты. Прочие условные обозначения см. на рис. 1

анализ 5 образцов, взятых из пограничных мел-палеогеновых отложений, выполнен на комплексе оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов «Delta V Advantage». Высушенные и измельченные образцы подвергались обработке 105%-ной полифосфорной кислотой на линии пробоподготовки Gas Bench II, подключенной непосредственно к масс-спектрометру. Анализировался состав стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) углекислого газа, выделившегося в результате реакции карбоната с кислотой. Точность измерений контролировали по международному стандарту NBS-19. Изотопные значения указаны в промилле относительно VPDB. Каждый образец анализировали дважды, стандартное отклонение не превышает 0,1‰.

Вариации коэффициента  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  могут быть измерены масс-спектрометром с погрешностью  $\pm 0,01\%$ , однако методы подготовки образцов к анализам фактически не позволяют достичь такой высокой точности, поэтому древние температуры определяются с погрешностью до 1°, редко до 0,5 °C [Верзилин, 1979; Хефс, 1983].

Если карбонатные скелеты организмов (или карбонатное вещество, возникающее химическим путем) образуются в изотопном равновесии с окружающей водой, то при постоянном изотопном составе воды соотношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в карбонатном

материале будет изменяться в зависимости от температуры, так как константа равновесия для системы изотопного равновесия зависит от температуры. Зависимость от температуры коэффициента  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  для кальцита, образующегося как хемогенным путем, так и в раковинах некоторых морских беспозвоночных, определена экспериментально. Таким образом, было получено следующее уравнение палеотемпературной шкалы:

$$t, \text{ }^\circ\text{C} = 16,5 - 4,3(\delta^{18}\text{O}_\text{к} - \delta^{18}\text{O}_\text{в}) + 0,14(\delta^{18}\text{O}_\text{к} - \delta^{18}\text{O}_\text{в})^2,$$

где  $t, \text{ }^\circ\text{C}$  – температура воды, в которой образовывался карбонат кальция;  $\delta^{18}\text{O}_\text{к}$  – изотопный состав кислорода углекислого газа, полученного из карбоната кальция путем разложения его 105%-ной ортофосфорной кислотой и измеренного относительно стандарта PDB, а  $\delta^{18}\text{O}_\text{в}$  – изотопный состав углекислого газа, изотопно уравновешенного с водой, в которой образовывался карбонат кальция, и измеренный относительно SMOW [Каплин, Янина, 2010; Фор, 1989].

Однако даже при исследовании морских карбонатов для достижения достаточной точности палеотемпературных определений необходимо выполнение ряда важных условий. Во-первых, необходимо знать величину  $\delta^{18}\text{O}$  для морской воды, находившейся в равновесии с образцом. Во-вторых, карбонат кальция, отлагаемый неко-

торыми организмами, не находится в равновесии с водой, а значит, указанное уравнение неприемлемо. В-третьих, на фракционирование изотопов кислорода значительно влияет минералогия. Для арагонита, кальцита, магнезиального кальцита и доломита выведены свои зависимости. Необходимо также учитывать изменения, которые происходят в изотопном составе после захоронения карбоната, — растворение и переотложение.

Таким образом, необходимо отметить, что значения  $\delta^{18}\text{O}$  в незамещенных карбонатом кальция скелетах определяются не только температурой окружающей среды, но также и изотопным составом воды, минеральным составом раковин и возможными метаболическими эффектами. Нами исследовано 5 образцов валовых проб карбонатно-кремнистых пород (кремнистый мел, известковистые опоки).

**Характеристика маастрихтских—зеландских отложений Ульяновско-Саратовского прогиба.** Разрез расположен на север от г. Сенгилей (Ульяновская область), юго-восточнее горы Гранное Ухо на правом берегу р. Волга, ниже сел. Шиловка. Принципиально он идентичен разрезу на правом берегу Волги выше г. Сенгилей или разрезу в окрестностях сел. Шиловка, описанным в работах [Архангельский, 1912; Милановский, 1940; Герасимов и др., 1962; Камышёва-Елпатьевская, 1967; Глазунова, 1972; Беньямовский и др., 1988].

В забое карьера наблюдается выходы пород пачки I — переслаивание серых алевроитовых глин, песчанистых серо-коричневых мергелей (рис. 1). Эти отложения Ульяновского Поволжья по стратиграфическому положению соответствуют «птериевым слоям» Саратовского Поволжья. Из них известны находки *Hypoxytoma tenuicostata*, *In. lobatus*, *Actinocamax laevigatus* [Герасимов и др., 1962], зона *Actinocamax laevigatus*. Этот интервал разреза соответствует фораминиферовому слою XIV с *Gavelinella stelligera* (Marie) и *Bolivinoidea strigillatus* (Chapman) в «классическом» разрезе на правом берегу Волги выше г. Сенгилей [Беньямовский и др., 1988]. Видимая мощность отложений пачки 1,8 м. Вверх по разрезу эта толща сменяется верхнекампанскими карбонатными породами.

**Пачка II.** Рыхлый писчий мел (микроскопически биокластический известняк). В основании пачки песчанистый, с фосфоритами и глауконитом. Нижняя часть разреза (рис. 1) пачки (0,45 м) внешне напоминает «сурку». В подошве и в кровле пачки присутствуют поверхности размыва. Встречаются ростры *Belemnitella mucronata senior*, фрагменты губок, раковины брахиопод, устриц, гастропод и скелеты морских ежей, редкие ихнофоссилии *Teichichnus* и *Zoophycos*. Эта толща аналогична слою XIV с *Cibicoides temirensis* (Vass.) и слою XVIII с *Brotzenella monterelensis* (Marie) в разрезе выше г. Сенгилей [Беньямовский и др., 1988], откуда также происходят находки *Paracti-*

*nosamax* sp. Ритмичность отсутствует. Мощность пачки 2,7–3 м.

**Пачка III** визуально сложена аритмичным писчим мелом, мощность 10,5 м (рис. 1). В основании пачки наблюдается пласт мергелистого известняка (0,5 м), с размывом залегающего на верхнекампанских отложениях. Встречаются ростры *B. lanceolata*, что свидетельствует о присутствии в разрезе одноименной зоны нижнего маастрихта. Также встречаются скелеты губок, раковины брахиопод, устриц, гастропод и фрагменты скелетов морских ежей, а также ихнофоссилии *Zoophycos*, *Teichichnus*, *Planolites*. Пачка предположительно соответствует фораминиферовым слоям XXIII и XXIV с *Brotzenella complanata* (Reuss) и *Anomalinoidea ukrainicus* (Cushman et. Dead) соответственно в разрезе у сел. Шиловка [Беньямовский и др., 1988]. В кровле пачки наблюдается поверхность перерыва. Пачка с угловым несогласием перекрыта толщей переслаивания светлых и темных опок нижнего палеоцена.

**Пачка IV** — ритмично построенная пестроокрашенная кремнистая толща переслаивания желтовато-бежевых опок с серыми и бежевыми глинистыми опоками (рис. 1). Ритмы без труда устанавливаются на обнажении по контрастному профилю выветривания, смене литологических типов пород и их цветовой дифференциации. В пластах опок наблюдается красно-сизая полосчатость, связанная, возможно, с постседиментационными процессами. Базальная часть пачки представлена чередованием сравнительно более и менее песчанистых опок. Выше в разрезе преобладают чистые кремнистые разности опок, переслаивающиеся с глинистыми разностями.

**Геохимические данные о маастрихтском интервале разреза в карьере Сенгилейского цементного завода** позволили рассчитать значения концентрации (ppm) для 29 элементов и соединений, а также их отношений (модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности (рис. 3–5). Описанию этой методики посвящено множество работ [Енгальцев, Панова, 2011; Клима..., 2004; Складаров, 2001]. Иногда полученные нами данные о некоторых показателях в контексте их палеогеографической интерпретации противоречивы, что требует дополнительного изучения.

Кратко и выборочно охарактеризуем концентрацию элементов, соединений и их отношения.

**К показателям изменения глубины бассейна** относятся отношения Fe/Mn, Ti/Mn, Mn/Ni, титановый модуль (ТМ), натриевый модуль (НМ), калиевый модуль (КМ), а также элементы Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, указывающие на смещение фаций (рис. 3).

**Отношение Ti/Mn** служит показателем мелководности отложений — оно уменьшается при удалении от области сноса и возрастает при приближении к суше. Для континентальных обстановок

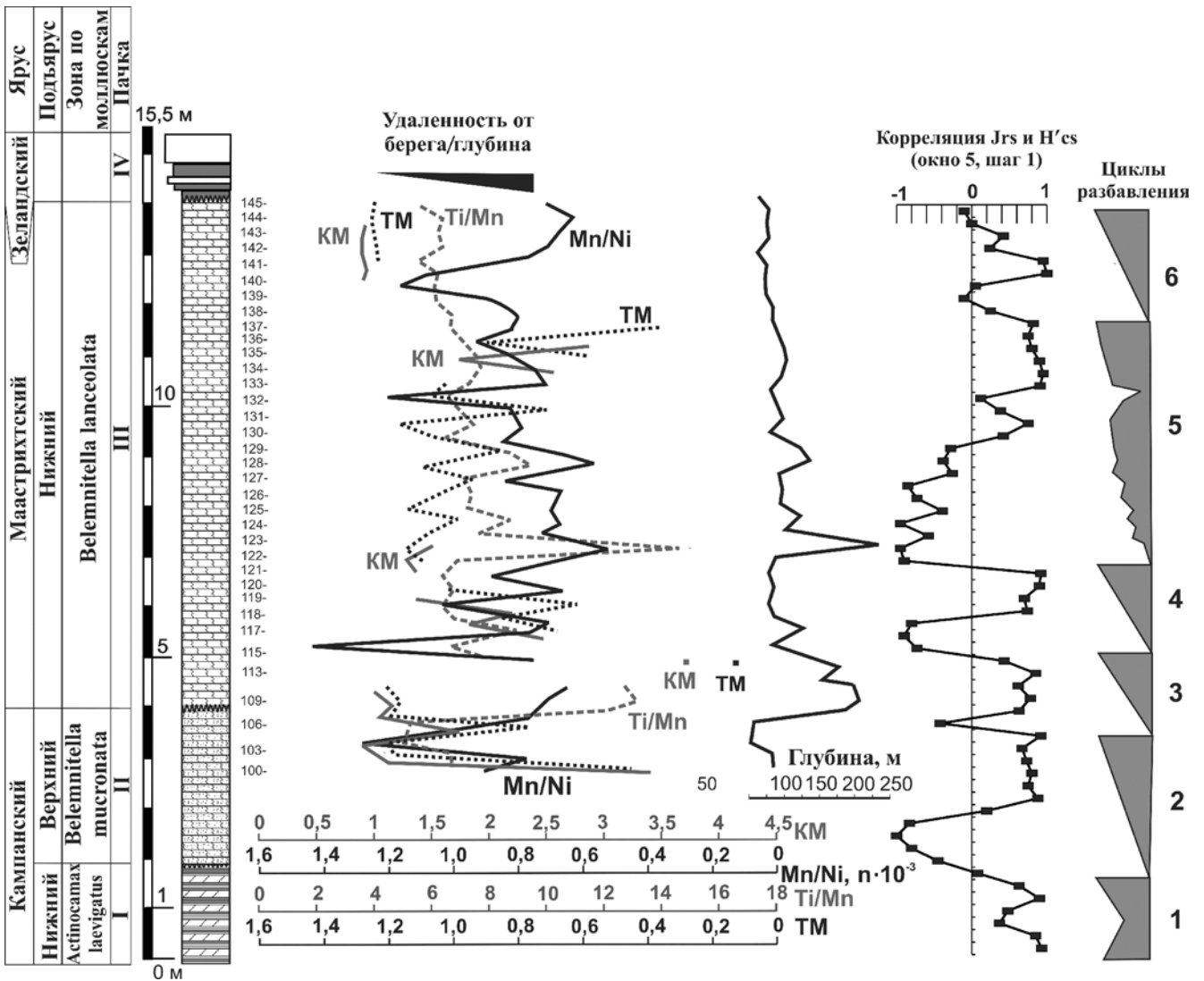


Рис. 3. Литологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций глубины для разреза в районе г. Сенгулей. Условные обозначения см. на рис. 1

величина отношения составляет 110–150. Из-за устойчивости минералов титана к химическому выветриванию они накапливаются в аллювиальных и прибрежно-морских условиях. В нормальносоленом морском бассейне содержание Ti понижено из-за отсутствия его истинных растворов [Юдович, Кетрис, 2011].

**Калиевый модуль** (KM =  $K_2O/Al_2O_3$ ) определяется интенсивностью 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 [Енгальцев, Панова, 2011].

**Содержание Sr и Ba.** Увеличение содержания Sr свидетельствует об удаленности от источника сноса терригенного материала, а повышение концентрации Ba, наоборот, о приближении источника сноса. С ростом глубины бассейна Ba все сильнее растворяется, однако при этом на глубине 4–5 км его концентрация может достигать максимальных значений, так как он вступает в реакцию с окружающей средой и выпадает в осадок.

**Содержание Pb и Zn.** Увеличение концентрации этих элементов вызвано приближением к источнику сноса и/или увеличением солёности бассейна.

Для анализа **вариации значений палеотемпературы** (рис. 4) использованы следующие значения концентрации элементов и их отношения: V, Ca, Ni, Ca/Sr, титановый модуль (ТМ), Mn, Si/Al. Вариации температуры также можно оценить с помощью отношений Ca/Mg, Sr/Ba, Zn/Nb, (Ce, Nd, La, Ba)/Yb (Y, Zr).

Увеличение концентрации Ca, Sr, Mg может указывать на аридный тип климата, а увеличение

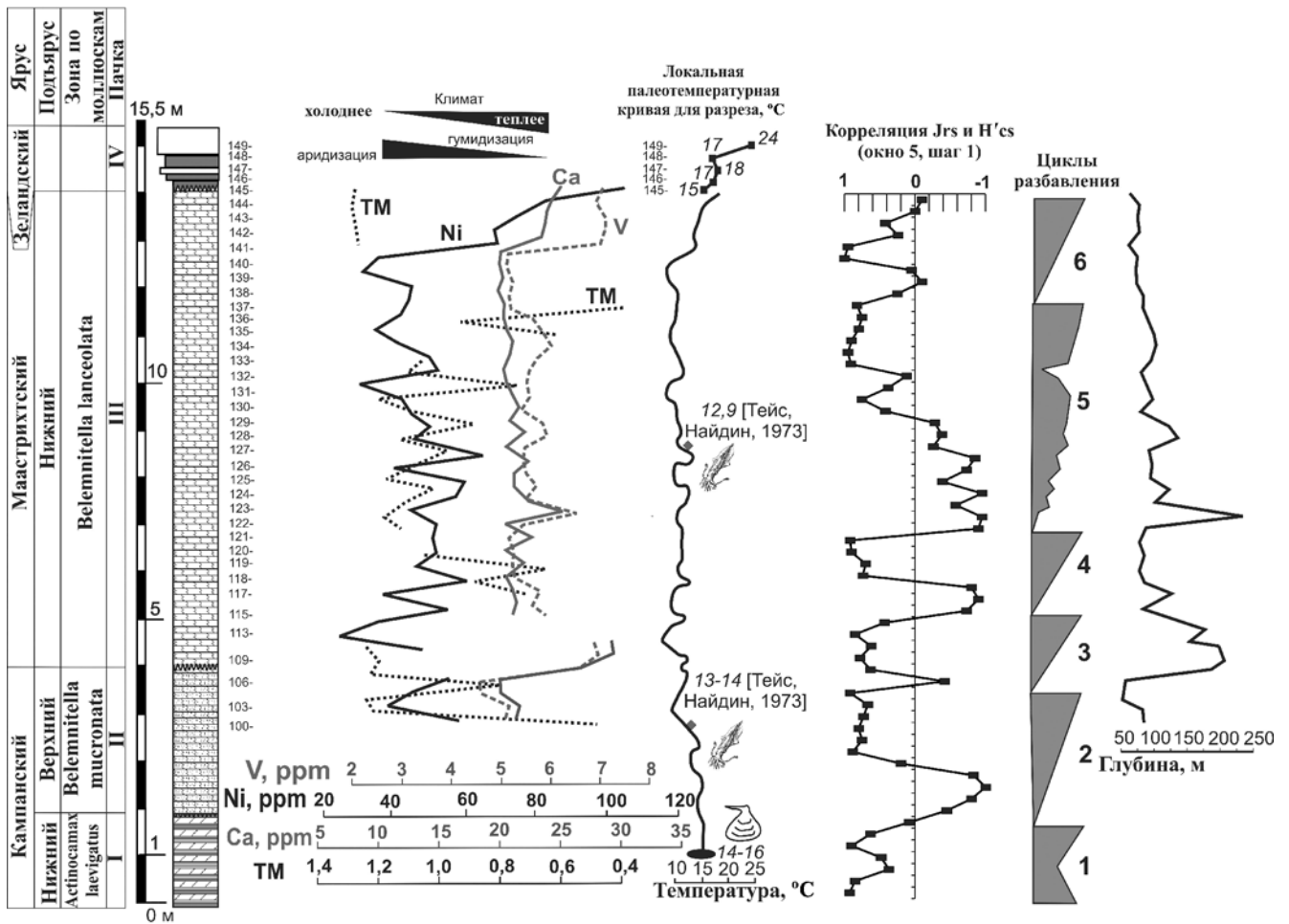


Рис. 4. Литологическая, палеонтологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций климата для разреза района г. Сенгилей. Условные обозначения см. на рис. 1

содержания Sc, Ni, Zn, Y, W, U, Cu, V и редкоземельных элементов (РЗЭ) — на гумидные условия седиментации.

**Титановый модуль** — отношение содержания  $TiO_2$  и  $Al_2O_3$  — 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 разной климатической обстановке. Гумидные песчано-алевритовые породы характеризуются более высокими значениями ТМ, 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 [Енгальчев, Панова, 2011].

Для анализа изменения солености (рис. 5) использованы значения отношений  $Sr/Ba$  и  $Ca/Sr$ . При нарушении физико-химического равновесия соленого раствора, обусловленного его захоронением, одни минералы в этой системе растворяются (например, кальцит), другие — формируются (доломит), что ведет к глубокой трансформации состава рассолов. При этом в растворе происходит избирательное концентрирование химических элементов, среди которых Ca, Sr, Ba. Это также хорошо видно в суперсоленых растворах, где содержание Ca сводится практически к нулю, так как при увеличении солености он замещается на Mg, содержащийся до этого в осадке. Следовательно, увеличение показателей  $Sr/Ba$ ,  $Ca/Sr$  свидетельствует о повышении солености раствора.

Концентрация V, Ba, S, Cr, Cu, Ga, Ni и V в морских осадках выше, чем в пресноводных. Zn и Cu — также показатели солености раствора, подвижность этих элементов напрямую зависит от солености. В речных водах содержание Cu практически всегда постоянно, поэтому когда речная вода перемешивается с морской, скорость выпадения Cu в осадок уменьшается с повышением солености получаемого раствора.

Подвижность Zn также уменьшается с повышением солености.

**Обсуждение результатов.** Большой массив данных, полученных ранее [Gabdullin et al., 1999; Габдуллин, Иванов, 2001; Габдуллин, 2002], позволяет реконструировать палеогеографические условия в кампан-маастрихтское время. Полученные геохимические данные позволили уточнить условия седиментации в Ульяновско-Саратовском прогибе в маастрихтском веке и начале палеоцена.

**Ранний кампан. Состав палеоценоза.** Планктон с кремниевым и карбонатным скелетом. Бентосные формы представлены пеллециподами (2 рода, 2 вида), нектонные — белемнитами (2 рода, 2 вида).

**Глубина.** Присутствие в биоценозе птерий свидетельствует о глубине 6–60 м. Максимально глубоководные современные птерии известны с глубины ~374 м. Иноцерамы предпочитают сравнительно глубоководные условия. По данным Н.А. Бондаренко [Бондаренко, 1990], рассматриваемые отложения накапливались в сублиторали. Таким образом, ориентировочная глубина бассейна составляла 60 м и более. Геохимических данных для этого интервала разреза нет.

**Температура.** Современные птерии предпочитают воды с температурой 14–16 или 25–32 °С. Наличие в разрезе кремнисто-карбонатных пород с преобладанием кремнистых свидетельствует в пользу сравнительно более низких значений температуры, т.е. 14–16 °С. Определение температуры по рострам белемнитов показало [Тейс, Найдин, 1973], что температура, скорее всего, колебалась около 14 °С.

**Гидродинамика.** Птерии избегают областей с течениями и прибоем. Таким образом, можно предположить, что гидродинамические условия в бассейне осадконакопления были спокойные.

**Газовый режим.** Предполагается существование вод с нормальным содержанием растворенного в воде кислорода.

**Соленость.** Птерии — стеногалинные организмы, не выносящие опреснения, следовательно, в бассейне существовали условия нормальной солености.

**Тип субстрата.** Птерии предпочитают заселять твердый субстрат. Иноцерамы заселяют различные субстраты. Таким образом, рыхлое дно бассейна содержало каменистые выступы или же весь субстрат был твердым.

**Формирование цикличности.** Ритмичность в разрезе представлена переслаиванием терригенных пород, формировавшихся в мелководном бассейне с терригенной седиментацией, что, скорее всего, свидетельствует о циклах разбавления (ЦР). Для интерпретации природы этой ритмичности предлагается модель Г. Эйнзеле и А. Зейлахера [1985], постулирующая циклы разбавления (рис. 2). Циклические изменения кли-

мата (влажный/сухой) приводят к циклическим флуктуациям в объеме силикатного кластического материала (больше/меньше, соответственно), поступающего с речным стоком с суши в бассейн седиментации. В условиях сухого климата формируется более карбонатный элемент ритма, а в условиях влажного — менее карбонатный элемент. В настоящее время эту модель можно применить к седиментации в одном из районов Чили [Lamy et al., 1998].

**Поздний кампан. Фаза *Belemnitella mucronata*.** Данные комплексных лабораторных исследований показали циклическое распределение измеренных параметров по визуальнo аритмичному карбонатному разрезу верхнего кампана и нижнего маастрихта, что говорит о скрытой ритмичности. Ниже приведена возможная интерпретация природы образования этой крипторитмичной толщи.

**Состав палеоценоза.** Планктон с карбонатным скелетом, бедный комплекс макрофоссилий, представленный бентосными формами — несколькими видами иглокожих, пеллеципод (иноцерамы) и белемнитов.

**Глубина.** По данным Н.А. Бондаренко [1990], отложения накапливались в пелагиали. Анализ геохимических данных (рис. 3) показал схожие вариации следующих модулей и отношений: КМ, ТМ, Ti/Mn, Mn/Ni. Наиболее представительна и хорошо коррелирует с петромагнитными параметрами (отношение Jrs и H'cs), на наш взгляд, кривая отношения Ti/Mn, которую мы выбрали в качестве палеобатиметрической кривой.

**Газовый режим.** Незначительные вариации содержания растворенного в воде кислорода следуют из циклического распределения концентрации C<sub>орг</sub>, объема биотурбации, присутствия в разрезе пиритовых конкреций, соответствующих эпохам сравнительно низкого содержания растворенного кислорода.

**Тип субстрата.** Бентосные организмы представлены спатангоидными ежами, обитающими в рыхлом илистом грунте, и иноцерамами, заселяющими все типы грунта. Следовательно, скорее всего, грунт был мягким и илистым.

**Температура.** В результате определения температуры по рострам белемнитов [Тейс, Найдин, 1973] получены значения в диапазоне 13–14 °С. Анализ геохимических данных (рис. 4) демонстрирует хорошую корреляцию трендов флуктуаций концентрации элементов Ni, Ca, V, а также ТМ. Наиболее представительна и хорошо коррелирует с данными других методов (например, с кривой отношения Jrs и H'cs) кривая содержания Ca, на основе которой и с учетом палеоэкологических данных об отложениях пачки I, а также опубликованных и собственных данных палеотермометрии построена палеотемпературная кривая. В течение фазы *mucronata* имели место 2 цикла вариаций температуры в диапазоне 10–15 °С.

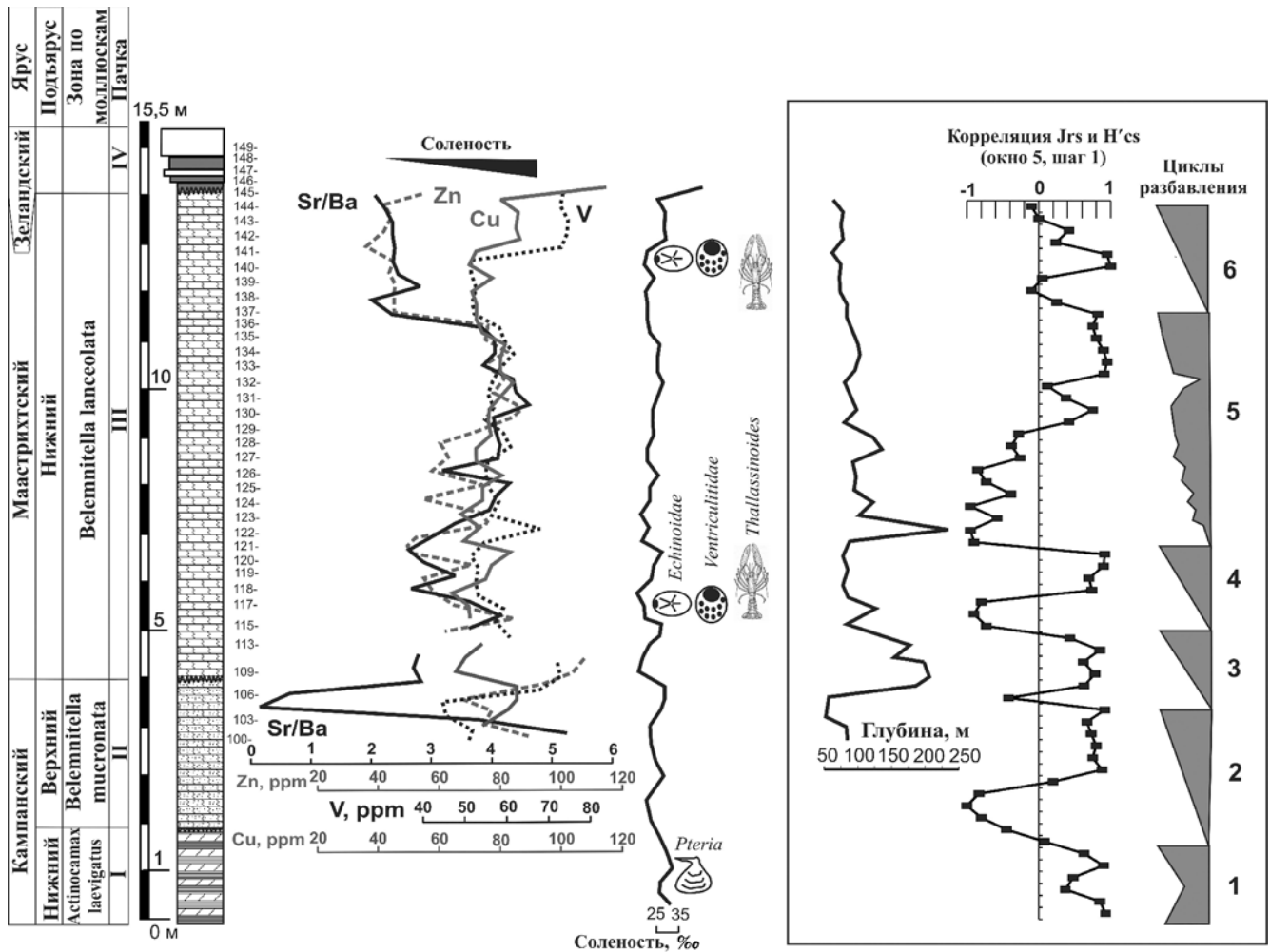


Рис. 5. Литологическая, палеонтологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций солености для разреза района г. Сенгилей. Условные обозначения см. на рис. 1

**Соленость.** Анализ геохимических данных (рис. 5) показал схожесть флуктуаций концентрации элементов и их отношений: Zn, Cu, V и Sr/Ba. Самая представительная и хорошо коррелирующая с данными других методов (например, с кривой отношения Jrs и H'cs) — кривая содержания Cu, на основе которой была построена палеогалинометрическая кривая. В течение фазы *mucronata* имели место постоянные вариации солености в диапазоне 25–35‰.

Данные о гидродинамике палеобассейна отсутствуют.

**Формирование скрытой ритмичности.** Распределение комплекса изученных параметров приведено на рис. 2. Циклы разбавления [Габдуллин и др., 1999] включали в себя вариации объема привноса терригенного магнетита (подтверждены петромагнитными исследованиями) в бассейне с преимущественно карбонатной седиментацией. Природу этой визуальной ритмичной толщи писчего мела можно объяснить с привлечением вышеописанной модели (ЦР), обусловленной климатическими вариациями. Образование этой толщи может быть связано с двумя циклами раз-

бавления, которые четко фиксируются на кривой отношения Jrs и H'cs (рис. 1).

**Ранний маастрихт. Фаза *Belemnella lanceolata*.**

**Состав палеоценоза** — преобладают планктон с карбонатным скелетом и бентосные формы макрофоссилий над нектонными макрофоссилиями. Следы *Planolites* могут принадлежать пелециподам, гастроподам и иглокожим. Следы *Thallassinoides* указывают на присутствие ракообразных.

**Соленость.** В отложениях присутствуют губки (*Ventriculitidae*), иглокожие (морские ежи *Echinocorys*, цидароиды), брахиоподы и ракообразные (*Thallassinoides*), живущие в условиях нормальной солености. Анализ геохимических данных (рис. 5) показал, что в начале и в конце фазы *lanceolata* имели место постоянные вариации солености в диапазоне 25–35‰, а большую часть фазы соленость была практически стабильна.

**Газовый режим.** С одной стороны, наличие пиритовых конкреций свидетельствует о восстановительных условиях, а с другой — в скудном биоценозе присутствуют стенооксидные губки и эвриоксидные устрицы. Возможно, имели место слабые вариации газового режима, подтвержден-



ные ритмичным распределением ихнофоссилий (объемом биотурбации) и концентрацией  $C_{орг}$ .

**Тип субстрата.** Спалангоиды (*Echinocorys*), цидароиды и ракообразные (следы *Thalassinoides*) обитают в рыхлом и мягком грунте. Твердый субстрат благоприятен для губок и теребратул-лид. 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 [1990], отложения накапливались в пелагиали (т.е. глубже 130–200 м). Губки-вентрикулитиды известны на глубине от нескольких сотен метров до 6 км. Устрицы рода *Ostrea* обычно обитают на глубине 40–100 м. Ежи-цидароиды заселяют глубины 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 более 100 м (нижняя сублитораль–батияль). Сравнительно мелководные формы (например, пектениды), скорее всего, являются аллохтонными. Анализ геохимических данных (рис. 3) показал, что в течение фазы *lanceolata* имели место постоянные вариации палеоглубины в диапазоне 50–250 м, произошло 2 трансгрессивно-регрессивных цикла с амплитудой перепада уровня эпиконтинентального моря в 150 м.

**Температура** в окрестностях г. Хвалы́нск [Тейс, Найдин, 1973] оценивается в 12,9 °С. По геохимическим данным (рис. 4) имели место слабые вариации палеотемпературы в пределах 10–15 °С с тенденцией к потеплению к концу фазы.

**Состав палеоценоза и глубина бассейна.** Богатый палеоценоз включает планктон с карбонатным скелетом, бентосные формы (губки, брахиоподы, гастроподы, пелелиподы и морские ежи) и редкие нектонные формы — белемниты. Встречены ихнофоссилии *Zoophycos*, *Planolites*, *Teichninius*. Отметим, что сравнительно малое количество нектонных форм при изобилии бентосных свидетельствует об относительно более мелководных условиях, т.е. о принадлежности рассматриваемого разреза к сублиторали.

**Формирование скрытой ритмичности.** Циклы разбавления [Габдуллин, Выдрик, 1998.; Gabdul-lin et al., 1999] подтверждаются результатами петромагнитных исследований (рис. 3). Привнос терригенного магнетита был циклическим, предполагается наличие 4-х циклов разбавления (ЦР). В основании цикла можно выделить гипотетический, скрытый более карбонатный элемент ритма (ЭР), а в кровле — менее карбонатный, отвечающий времени максимального привноса терригенного материала. Такое заключение основано на вариации положительных или отрицательных значений на кривой корреляции остаточной на-

магниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности насыщения, а также подтверждается результатами микроскопического изучения пород в шлифах, где видны две петрографические разности писчего мела.

Менее карбонатный элемент ритма в разрезе карьера Сенгилейского цементного завода микроскопически представлен писчим мелом биокластическим с 20% биокластов (15% — фораминиферы и кальцисферулиды; 4% — фрагменты призматического слоя двустворчатых моллюсков, 1% — фрагменты скелета иглокожих), 15% — кристаллокласты рудных минералов, в том числе магнетита, запечатанных в матриксе (65% микритового кальцита).

Более карбонатный элемент сложен писчим мелом биокластическим, который состоит из 20% биокластов (16% — фораминиферы и кальцисферулиды; 2% — фрагменты призматического слоя двустворчатых моллюсков, 2% — фрагменты скелета иглокожих), 10% — кристаллокласты рудных минералов, в том числе магнетита и матрикса (70% микритового кальцита).

Выделенные гипотетические ритмы коррелируют с пиками на кривых распределения ряда параметров (рис. 2). Циклы биопродуктивности не установлены. В шлифах, отобранных из предполагаемых ЭР, выявлено приблизительно равное количество биокластов фораминифер и кальцисфер. Признаки, указывающие на циклы растворения, не установлены. Вышеупомянутая модель, связанная с вариациями климата, предлагается для интерпретации условий формирования этой визуальной ритмичной толщи писчего мела.

Изученный комплекс методов разрез исследован на закономерность повторения вариаций различных параметров одновременно с определением времени формирования ритмов. Нами использован метод подсчета среднего числа осцилляций параметров по разрезу с последующим делением продолжительности интервала на число пиков. Для этого использовано 10 шкал времени, схема сопоставления которых приведена в табл. 1, из данных которой видно, что оценки продолжительности веков по данным разных авторов могут различаться в 2 раза и/или на порядок (так же, как циклы Миланковича).

Продолжительность зоны *lanceolata* (табл. 2) оценена в 1/3 раннего маастрихта. Продолжительность ритмов подсчитывали путем деления длительности ланцеолятовой зоны на среднее число осцилляций (11) на графиках замеренных параметров. В результате по 3 шкалам получены значения, близкие к продолжительности циклов эксцентриситета  $E_1$ , приблизительно равной 100 000 лет. По остальным 7 шкалам значения длительности ритмов не совпадают с известными астрономическими циклами Миланковича. Вариации положительных или отрицательных значений на

кривой корреляции остаточной намагниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности насыщения, интерпретированные с позиций ЦР, скорее всего, связаны с циклами эксцентриситета  $E_2$  (~400 000 лет). Разброс значений, получаемых при оценке продолжительности ритмов, позволяет только констатировать проявления циклов эксцентриситета в изучаемом разрезе. Не исключена и другая трактовка полученных результатов: в разрезе установлены циклы эксцентриситета разных порядков, при этом циклы меньшего порядка «вложены» в циклы большего порядка.

Таблица 1

Схема сопоставления геохронологических шкал

Век	Авторы, год									
	Hinte, 1975	Harland, 1982	Palmer, 1983	Naq, 1987	Harland, 1989	Cowie, 1989	Odin, 1990	Obrado-vich, 1993	Gradstein & Ogg, 1994	Hardenbol et al., 1998
	Продолжительность, млн лет									
m	5	8	8,5	7	9	10	7	6	6,3	6,3
cp	8	10	9,5	10	9	8	10	12	12,2	12,2
st	4	5	3	4	4	3	5	3	2,3	2,3
cn	4	1	2	1	2	2	1	3	3,2	4,5
t	6	2	3	3	3	3	3	4	4,5	4,5
cm	8	6	6	4	5,5	4	5	5	5,4	5,4

**Зеландий.** В связи с рекогносцировочным характером исследования нижнепалеоценовой части разреза заключение о природе ее ритмов носит предварительный характер. Из-за отсутствия данных инструментальных исследований для этой части разреза реконструировать условия седиментации можно по литологическому составу пород.

Циклы разбавления сформировали чередование сравнительно более и менее песчаных опок в базальной части пачки и, скорее всего, привели к образованию переслаивания чистых кремнистых и глинистых разностей опок. В самой нижней части разреза зеландских отложений встречены карбонатсодержащие (известковистые) опоки, или кремнистые известняки, для которых выполнены изотопные исследования. Вариации палеотемпературы составляли от 15 до 24 °С (в среднем 17–18 °С) с тенденцией к потеплению (рис. 4, 6). Для циклично построенных отложений самой нижней части зеландского яруса палеотемпература составляла 15–24 °С.

Дальнейшие исследования позволят точнее воссоздать обстановку осадконакопления.

**Выводы.** 1. Один из существенных выводов с методологической точки зрения: совместный, впервые выполненный комплекс литологических, петрографических, петромагнитных, геохимических и палеоэкологических методов позволил оценить палеогеографические условия среды осадконакопления для частного геологического разреза.

2. Выделена крипторитмичная карбонатная толща, характеризующаяся визуальным ритмичным видом с циклическим распределением замеренных параметров.

3. В результате комплексного анализа даже в визуальном ритмичной толще писчего мела установлены вариации большей части исследованных параметров. Эти вариации четко видны на параметрических кривых и их производных — палеобатиметрической (рис. 3), палеотемпературной (палеоклиматической, рис. 4) и палеогалинометрической (рис. 5) кривых. На основе последних оценены палеогеографические условия формирования осадков и геологическая история Ульяновско-Саратовского прогиба в конце мела–начале палеогена (рис. 6).

Таблица 2

Результаты подсчета по десяти шкалам продолжительности (Т) предполагаемых астрономо-климатических циклов для отложений нижнего маастрихта (зона *lanceolata*) в карьере Сенгилейского цементного завода

Номер шкалы	Продолжительность раннего маастрихта, млн лет	Продолжительность зоны <i>lanceolata</i> , лет	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{зоны}} / 11$ осцилляций	$T_{\text{цикла}} = T_{\text{зоны}} / 4$ осцилляции кривой корреляции Jgs и H'cs
1	2,5	825 000	75 757	206 250
2	4	1 320 000	121 212	330 000
3	4,25	1 402 500	128 788	350 625
4	3,5	1 155 000	<b>100 060 (циклы <math>E_1</math>)*</b>	288 750
5	4,5	1 485 000	136 363	371 250
6	5	1 650 000	151 515	<b>412 500 (циклы <math>E_2</math>)</b>
7	4,5	1 485 000	136 363	371 250
8	3	990 000	<b>90 909 (циклы <math>E_1</math>)</b>	247 500
9	3,150	1 039 500	<b>95 454 (циклы <math>E_1</math>)</b>	259 875
10	2	660 000	60 000	165 000

\* Полуцирком выделены циклы эксцентриситета 1-го и 2-го порядков.

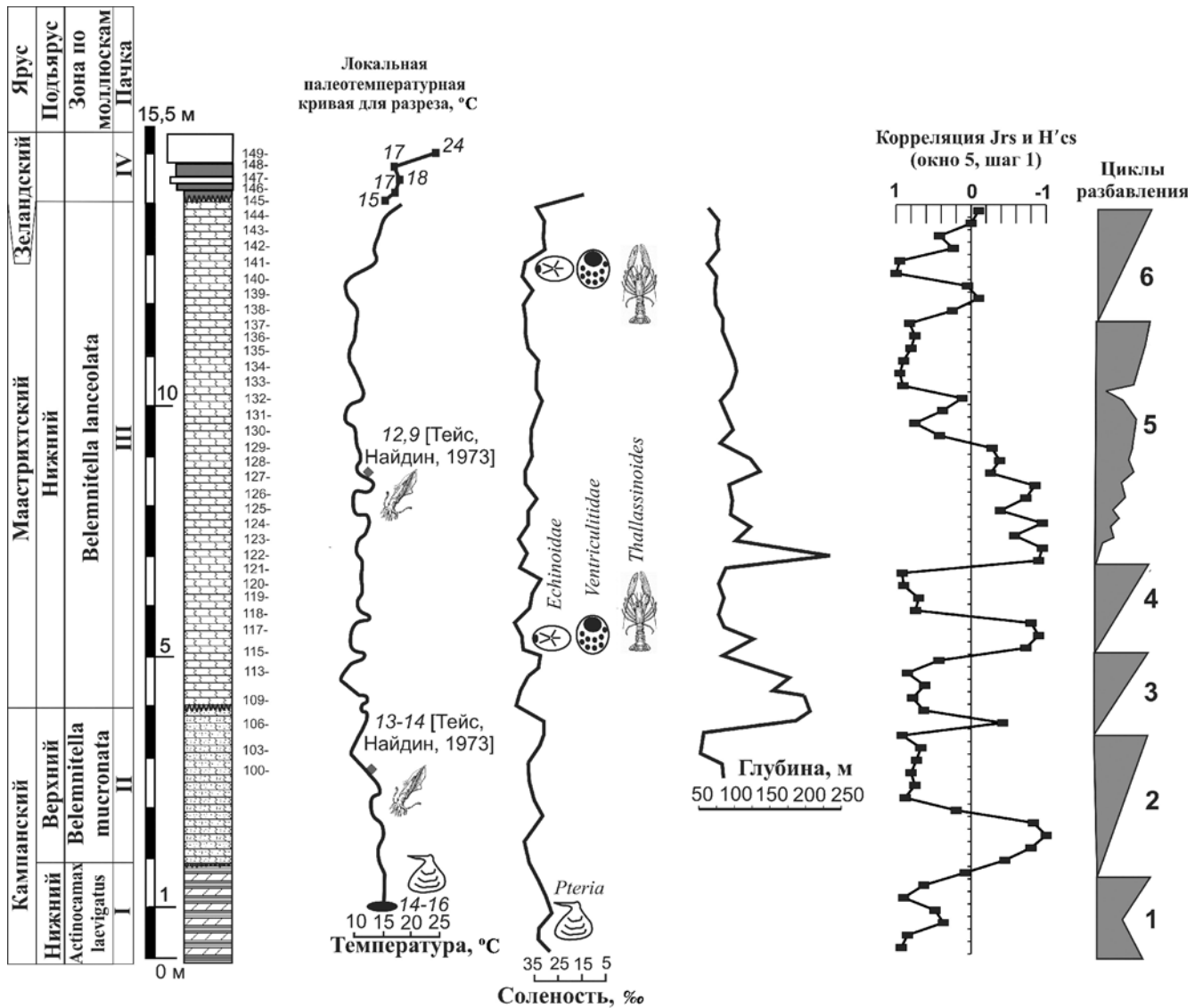


Рис. 6. Вариации температуры, солёности и глубины, петромагнитная характеристика и циклы разбавления в кампане—зеландии Ульяновско-Саратовского прогиба. Условные обозначения см. на рис. 1

4. Формирование скрыторитмичных карбонатных и ритмичных терригенно-карбонатных, а также кремнистых толщ связано с одним механизмом — циклами разбавления и палеогеографической моделью Г. Эйзеле и А. Зейлахера [1985]. Природа крипторитмичной толщи связана с периодическими климатическими изменениями, подчиняющимися циклами эксцентриситета земной орбиты.

5. По геохимическим и палеоэкологическим данным относительное повышение солёности коррелирует с ростом температуры и уменьшением глубины эпиконтинентального бассейна (рис. 6). Глубина эпиконтинентального бассейна составляла от 50 до 225 м, амплитуда эвстазии во время трансгрессивно-регрессивных циклов могла составлять до 150 м. В раннем кампане (пачка I, фаза *laevigatus*) установлен цикл разбавления и 2 цикла вариаций солёности (которые в это время и позднее оцениваются в диапазоне 35–25‰, в среднем солёность составляла около 30‰). В позднем кам-

пане (пачка II, фаза *mucronata*) выявлено 2 цикла вариации солёности и температуры, а также цикл разбавления и трансгрессивно-регрессивный цикл (во второй половине фазы). В раннем маастрихте (пачка III, фаза *lanceolata*) выделено 8 циклов вариации солёности и температуры, 4 цикла разбавления и 2 трансгрессивно-регрессивных цикла (во второй половине фазы).

6. Палеотемпературные данные предшественников [Тейс, Найдин, 1973] хорошо коррелируют с нашими данными. Палеотемпература в кампан-маастрихтское время составляла 13–16 °С (в среднем ~14 °С). В кампане и в конце раннего маастрихта климат был немного (на 1–2 °С) теплее, чем в большей части раннего маастрихта. В зеландское время температура составляла 15–24 °С.

7. Полученные данные о палеогеографии эпиконтинентального бассейна Ульяновско-Саратовского прогиба позволят детализировать палеогеографию и геологическую историю периферических частей палеоокеана Тетис (Перитетис).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архангельский А.Д.* Верхнемеловые отложения востока Европейской России // *Материалы для геологии России*. С-Пб.: Изд.-во Импер. Минерал. Об-ва, 1912. Т. XXV. С. 138–353.
- Беньямовский В.Н., Копеевич Л.Ф., Акимец В.С.* и др. К стратиграфии верхнего мела Ульяновского Поволжья по фораминиферам // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1988. № 5. С. 65–74.
- Бондаренко Н.А.* Стратиграфия и условия седиментации сантонских, кампанских и маастрихтских отложений правобережья Нижнего Поволжья: Автореф. канд. дисс. Саратов, 1990. 22 с.
- Верзилин Н.Н.* Методы палеогеографических исследований. Л.: Недра, 1979. 247 с.
- Виноградов В.И.* Изотопные показатели геохимических изменений осадочных пород // *Природа*. 2011. № 11. С. 22–28.
- Габдуллин Р.Р.* Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 304 с.
- Габдуллин Р.Р., Выдрик А.Б.* Сравнительная характеристика ритмичных толщ палеоцена Ульяновского Поволжья (Сенгилей) и Горного Крыма (Беш-Кош) // *Геологические науки-98: Тез. докл. науч. конф.* Саратов, 1998. С. 47.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* Комплексное изучение ритмичности карбонатного осадконакопления на примере позднемелового бассейна Ульяновско-Саратовского прогиба // *Тр. НИИ Геологии СГУ. Нов. серия*. 2001. Т. VIII. С. 69–90.
- 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*. 2001. № 5. С. 16–29.
- Камышёва-Елпатьевская В.Г.* Маркирующие горизонты юрских, меловых и палеогеновых отложений Саратовского Поволжья // *Уч. зап. СГУ имени Н.Г. Чернышевского*. 1951. Т. XXVIII. Вып. геол. С. 10–35.
- Каплин П.А., Янина Т.А.* Методы палеогеографических реконструкций: Методическое пособие. М., 2010. 430 с.
- Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Гл. редакторы М.А. Семихатов, Н.М. Чумаков.* М.: Наука, 2004. 299 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 550).
- Милановский Е.В.* Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. Л.: Гостоптехиздат, 1940. 276 с.
- Склярёв Е.В.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001.
- Тейс Р.В., Найдин Д.П.* Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органических карбонатов. М.: Наука, 1973. 254 с.
- Фор Г.* Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.
- Хефс Й.* Геохимия стабильных изотопов. М.: Мысль, 1983. 200 с.
- Эйнзеле Г., Зейлахер А.* Палеогеографическое значение темпеститов и периодитов // *Циклическая и событийная седиментация*. М.: Мир, 1985. С. 478–485.
- Gabdullin R.R., Guzhikov A.Ju., Bogachkin A.B. et al.* Periodities below and above the K/T boundary // *Bull. de L'Institute Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de la Terre*, 69-Supp. A, 1999. P. 87–101.
- Hardenbol J., Thierry J., Farley M.B. et al.* Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic Framework of European Basins // *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. SEPM Spec. Publ. 1998. Vol. 60. Ch. 1.
- Lamy F., Hebbeln D., Wefer G.* Late Quaternary precessional cycles of terrigenous sediment input off the Norte Chico, Chile (27,5 °S) and palaeoclimatic implications // *Paleogeography. Paleoclimatology. Paleoecology*. 1998. Vol. 141 (3–4). P. 233–251.

Поступила в редакцию  
03.03.2016