

УДК 552.143 (477.75):551.763.333

Р.Р. Габдуллин¹, Е.Н. Самарин², А.В. Иванов³, Н.В. Бадулина⁴, М.А. Афонин⁵,
Д.В. Игтисамов⁶, Е.Ю. Фомин⁷, А.Ю. Юрченко⁸

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ГОРНОМ КРЫМУ В МААСТРИХТСКОМ ВЕКЕ⁹

Впервые комплексом литологических и геохимических методов проведено детальное определение условий седиментации циклично построенных отложений маастрихтского яруса в Горном Крыму. Предложены модели вариаций температуры, солености и глубины для окраины океана Тетис в маастрихтском веке. Составлены сводные кривые вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ для маастрихта Горного Крыма.

Ключевые слова: маастрихтский век, цикличность, геохимия, хемотратиграфия, палеогеография, глубина, соленость, температура, Крым, Тетис.

The detailed determination of conditions of sedimentation for the cyclically bedded Maastrichtian deposits of Mountainous Crimea by the complex of lithological and geochemical methods was provided for the first time. Models explaining variations of temperature, salinity and bathymetry within margin of Tethys were proposed for the Maastrichtian time. Composite curves of variations of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ for Maastrichtian of Mountainous Crimea were compiled.

Key words: Maastrichtian, cyclicity, geochemistry, chemostratigraphy, paleogeography, bathymetry, salinity, temperature, Crimea, Tethys.

Введение. Поиск, разведка и последующее освоение месторождений углеводородов в Черноморском регионе требуют интеграции геологических данных по Крыму, Кавказу и Черному морю. В процессе интеграции разнообразной информации необходимо на современном научном уровне переинтерпретировать архивные данные и доизучить геологическое строение с последующей детализацией условий седиментации и восстановления палеогеографических обстановок. Представляется актуальным комплексное литолого-геохимическое исследование маастрихтских отложений Горного Крыма с позиции стратиграфии, седиментологии и палеогеографии.

Изложенные ниже результаты будут, на наш взгляд, представлять практический научно-образовательный

интерес для геологических практик студентов МГУ имени М.В. Ломоносова и других вузов, а также при геологоразведке Черноморского региона, строительстве и развитии инфраструктуры в Крыму.

Методика работ. В Крыму (рис. 1) исследования проводили в основном в Бахчисарайском районе, в междуречье Качи и Бодрака, в пределах Качинского поднятия. Изученный район находится в пределах полигона второй учебной геологической практики студентов геологического факультета Московского университета имени М.В. Ломоносова и на границе листов геологической карты ГДП-200 (L-36-XXVII и L-36-XXIX). В этом районе также проводятся практики студентов Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) и Российского

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 имени Ю.А. Гагарина, факультет экологии и сервиса, кафедра геоэкологии и инженерной геологии, декан, доцент; *e-mail:* yashkovia@mail.ru

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

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант; *e-mail:* mihail282@gmail.com

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; *e-mail:* dinar.igtisamov@rambler.ru

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант; *e-mail:* foma92@list.ru

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; *e-mail:* annette1988@inbox.ru

⁹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки (гранты СГТУ-141 и СГТУ-146); Программы 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_а); научные результаты получены с использованием комплекса оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов «Delta V Advantage», приобретенного по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

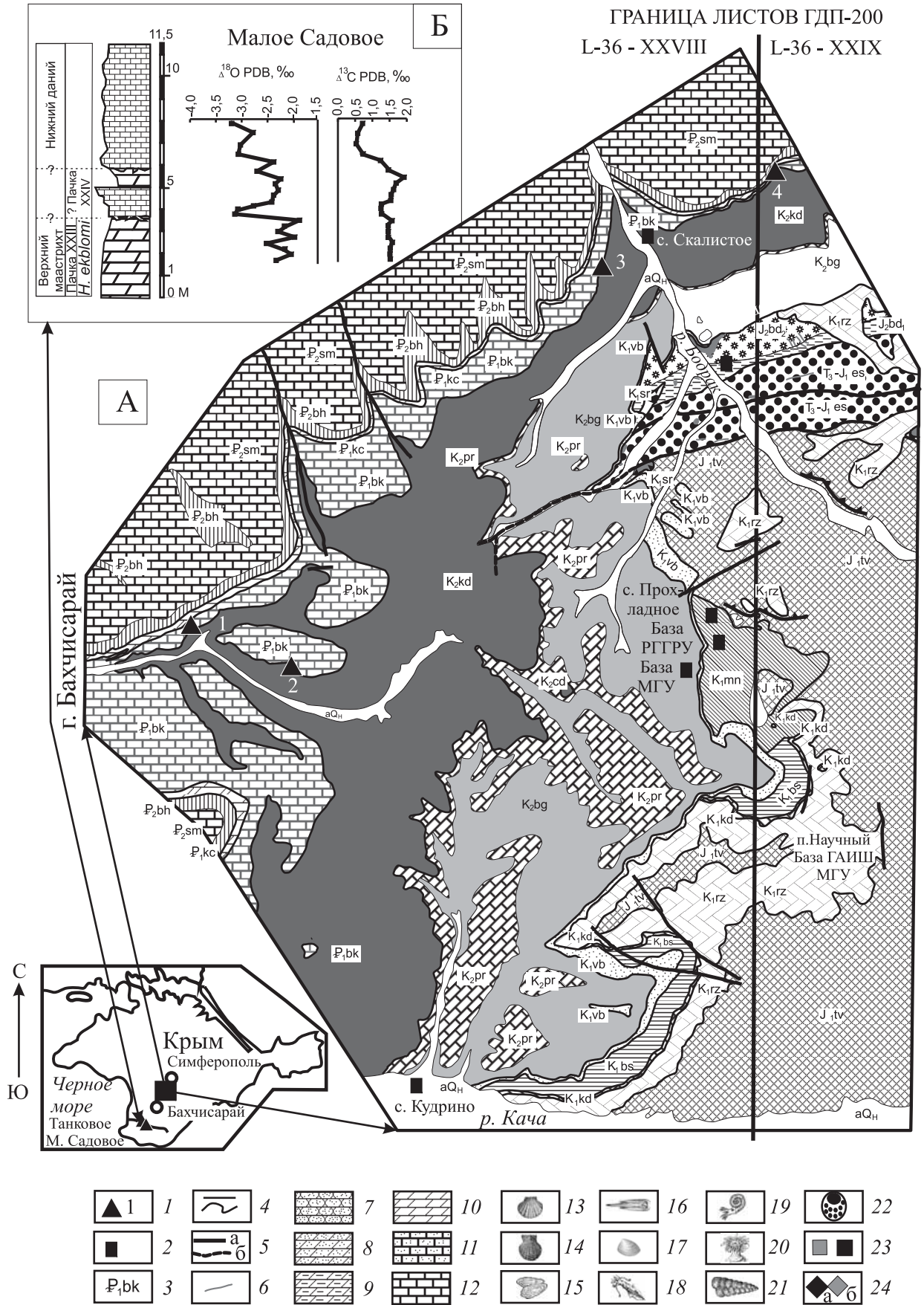


Рис. 1. Геологическая карта района исследований (А) и геохимическая характеристика разреза Малое Садовое (Б): 1 — местоположение разреза и его номер; 2 — населенные пункты, учебные базы; 3 — стратиграфический индекс свит; 4 — геологические границы; 5 — дислокации (а — достоверные, б — предполагаемые); 6 — интрузии; 7 — песчаники; 8 — песчаные мергели; 9 — глинистые мергели; 10, 11 — мергели; 12 — песчаные известняки; 13 — *Pecten*; 14 — *Chlamys*; 15 — *Ostrea*; 16 — *Pholadomya*; 17 — *Nucula*; 18 — *Belemnoidea*; 19 — *Ammonoidea*; 20 — *Anthozoa* (кораллы); 21 — *Textularia* (фораминиферы); 22 — *Porifera* (губки); положение образцов в разрезе для: 23 — геохимического анализа, 24 — изотопной палеотермометрии (а — авторские, б — архивные данные)

государственного геолого-разведочного университета (РГГРУ). Помимо перечисленных баз трех университетов в пределах учебно-научного полигона МГУ и листа L-36-XXIX в пос. Научном расположена база Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова). В качестве вспомогательного района исследований для дополнительной информации была выбрана долина р. Бельбек (рис. 1, Севастопольский район), где ранее был изучен разрез самых верхних горизонтов маастрихта у сел Малое Садовое [Габдуллин, 2002] и Танковое [Габдуллин, 2008].

Объект исследования — отложения верхней части кудринской свиты (K₂kd, верхний сантон—маастрихт), отвечающей маастрихтскому ярусу. В пределах листа L-36-XXVII расположены разрезы Староселье (разрез № 1, окраина г. Бахчисарай), плато Беш-Кош (разрез № 2), овр. Чах-Махлы (разрез № 3, окрестности с. Скалистое, левый берег р. Бодрак). На площади листа L-36-XXIX в окрестностях с. Скалистое на правом берегу р. Бодрак изучен разрез овр. Токма (разрез № 4).

В разрезе № 1 (Староселье) отобрано 9 образцов в интервале верхний маастрихт—нижний даний, представлены результаты анализов по 4 из них (за исключением большей части нижнедатских отложений). В разрезе № 2 (Беш-Кош) отобрано 9 образцов в интервале маастрихт—нижний даний, а также привлечены литературные данные [Alekseev, Koraevich, 1997; Габдуллин, 2002], привязанные к нашему описанию разреза. По разрезу в овр. Чах-Махлы (разрез № 3) переинтерпретация ранее опубликованных данных не проводилась по 20 точкам отбора образцов [Габдуллин, Первушов, Толстова, 2007], однако этот разрез необходим для послышной корреляции с разрезом № 4 (овр. Токма) и уточнения условий седиментации отложений пачки XXI нижнего маастрихта. Изучавшийся ранее разрез овр. Токма [Сизанов, Рудакова, Габдуллин, 2006] доизучен — исследованы 62 образца из отложений пачки XXI нижнего маастрихта, отобранные ранее, с помощью геохимического метода.

Разрезы № 2—4 были в разной степени изучены ранее комплексом петрографических, химических, физических, петромагнитных и палеонтологических методов; описание методов и полученные результаты опубликованы в серии работ [Alekseev, Koraevich, 1997; Габдуллин, 2002; Сизанов, Рудакова, Габдуллин, 2006; Габдуллин, Первушов, Толстова, 2007].

Впервые выполнен полный *геохимический анализ элементов* для 80 образцов преимущественно карбонатных (и в меньшей степени терригенно-карбонатных) горных пород на рентгено-флюоресцентном спектрокане «MARC.GV» (НПО «Спектрон», Санкт-Петербург) на кафедре инженерной геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (аналитик Е.Н. Самарин). Проанализированы 62 образца из разреза № 4 (овр. Токма), 9 образцов из разреза № 2 (плато Беш-Кош), 9 образцов из разреза

№ 1 (Староселье). Кроме того, включены аналитические результаты для 4 образцов из разреза Староселье (маастрихт и нижняя часть дания).

Затем были 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 анализ выполнен на комплексе оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов «Delta V Advantage». Высушенные и измельченные образцы подвергались обработке 10,5%-й полифосфорной кислотой на линии пробоподготовки «Газ-бенч 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 контролировалась по международному стандарту NBS-19. Изотопные значения указаны в промилле относительно VPDB. Каждый образец анализировали дважды. Стандартное отклонение не превышало 0,1‰.

Вариации значений коэффициента $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ могут быть измерены на масс-спектрометре с погрешностью $\pm 0,01\%$, однако методы подготовки образцов к анализам фактически не позволяют достичь такой высокой точности, поэтому значения древней температуры определяются с погрешностью до 1 °C, 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 в карбонатном материале отношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ будет меняться в зависимости от температуры, так как константа равновесия для системы изотопного равновесия зависит от температуры. Зависимость от температуры значений 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 приведенное 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 10,5%-й 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 CaCO_3 , 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, CaCO_3 , отлагаемый некоторыми организмами, не находится в равновесии с водой, а значит, уравнение неприемлемо. В-третьих, на фракционирование изотопов кислорода значительно влияет минералогический состав. Для арагонита, кальцита, магнезиального кальцита и доломита выведены свои зависимости. Необходимо также учитывать изменения изотопного состава после захоронения карбоната, происходившие в результате растворения и переотложения.

Таким образом, необходимо отметить, что значения $\delta^{18}\text{O}$ в незамещенных CaCO_3 скелетах определяются не только температурой окружающей среды, но и изотопным составом воды, минеральным составом раковин и возможными метаболическими эффектами.

Исследовано 13 образцов валовых проб биогенных карбонатных (мергель, известняк) и карбонатсодержащих (глинистый мергель, песчаный мергель, песчаный известняк) пород (4 из разреза № 1 и 9 из разреза № 2), данные для 13 из них включены в обработку (за исключением одного образца из разреза № 1).

Характеристика маастрихтских отложений Горного Крыма. Маастрихтские отложения протягиваются узкой полосой вдоль Второй гряды Крымских гор. Они согласно (со следами небольшого перерыва) залегают на верхнекампанских породах. В кровле они с несогласием различной амплитуды перекрываются отложениями (известняками и известковистыми песчаниками) датского яруса палеоцена [Алексеев, 1989].

В Юго-Западном Крыму нижний маастрихт принимается в объеме двух зон: нижней — *Belemnella lanceolata* (подпачки XX-1 и XX-2 пачки XX) и верхней — *Belemnella sumensis* (подпачка XX-3 пачки XX и пачка XXI). Верхнемаастрихтские отложения охарактеризованы зоной *Neobelemnitella kazimiroviensis* (таблица). Мощность преимущественно карбонатных (с небольшой долей терригенных) отложений маастрихтского яруса в Юго-Западном Крыму варьирует от 0 до 150 м [Алексеев, 1989]. По фораминиферам в нижнемаастрихтских отложениях г. Беш-Кош [Алексеев, Кораевич, 1997] выделены зоны *Brotzenella complanata* (подпачки XX-1, XX-2 и низы подпачки XX-3 пачки XX), *Gavelinella midwayensis* (верхи подпачки XX-3 пачки XX и низы пачки XXI) и *Brotzenella graeacuta* (верхи пачки XXI). В верхнем маастрихте г. Беш-Кош установлены зоны *Brotzenella graeacuta* (основание — верхняя часть пачки XXII) и *Hanzawaia ekblomi* (верхи пачки XXII — пачка XXIII). Наиболее полный разрез маастрихта среди рассматриваемых в работе расположен на плато Беш-Кош. Мощность

отложений нижнего маастрихта (пачки XX–XXI) выдержана и обычно составляет 75–80 м [Алексеев, 1989].

Стратиграфическая схема маастрихтских отложений Бахчисарайского района Юго-Западного Крыма, по [Алексеев, 1989]

Ярус	Подъярус	Зона	Пачка	Характеристика отложений
маастрихтский	верхний	<i>Neobelemnitella kazimiroviensis</i>	XXIV	Мергели алевроитовые, глауконитовые, с многочисленными рострами белемнитов и раковинами пектенид. Сохранились местами (р. Бельбек, разрезы Малое Садовое, Танковое, рис. 1). Мощность 0–5 м
			XXIII	Алевролиты, известняки, песчаники, обычно глауконитовые. Мощность 20–30 м
			XXII	Мергели желтовато-серые с рассеянным окремнением. Мощность 25–50 м
	нижний	<i>Belemnella sumensis</i>	XXI	Мергели серые с рассеянным окремнением. Мощность 25–50 м
<i>Belemnella lanceolata</i>			XX	Мергели серые, иногда глинистые, слабоалевритовые. Мощность 50 м

В разрезе г. Беш-Кош (рис. 1, 2) мощность отложений нижнего маастрихта 94 м [Алексеев, Кораевич, 1997].

Пачка XX. Мергели и известняки темно-серые, светло-серые, внизу иногда глинистые, слабоалевритистые (66 м, разрез плато Беш-Кош). Принадлежность этой пачки к нижнему маастрихту подтверждается присутствием аммонитов *Hoploscaphites constrictus*, *Hauericeras sulcatum*, *Diplomoceras cylindroceum*, редких белемнитов *B. lanceolata*, *B. sumensis occidentalis*. Пачка содержит богатый комплекс пелеципод: *Chlamys*, *Entolium*, *Nucula*, *Lopha*, *Pycnodonte*, *Acutostrea*, *Pholadomya* [Алексеев, 1989]. Пачка подразделяется на 3 подпачки [Алексеев, Кораевич, 1997].

Подпачка XX-1. Светло-серые пятнистые мергели. Содержание нерастворимого остатка возрастает вверх по разрезу от 7% в основании до 14–20% в кровле. Пачка плохо обнажена. Ритмичность не установлена. Мощность в разрезе Беш-Кош 20 м.

Подпачка XX-2. Светло-серые и желтоватые песчаные мергелистые известняки. Мощность данной подпачки в разрезе плато Беш-Кош 23 м. Содержание нерастворимого остатка 10–28%.

Подпачка XX-3. Серые песчаные мергели с пиритовыми конкрециями. Мощность 23 м. Содержание нерастворимого остатка варьирует от 17 до 22% [Алексеев, Кораевич, 1997].

В средней и верхней подпачках пачки XX установлены ихнофоссилии *Thalassinoides*.

Пачка XXI формирует скальный уступ. Мергели темно-серые и светло-серые, слабоалевритовые, с

пиритовыми конкрециями, мощность 25–30 м. В разрезе плато Беш-Кош мощность пачки составляет 28 м [Alekseev, Koraevich, 1997]. В пачке встречены ихнофоссилии *Thalassinoides*.

Пачки XX и XXI содержат богатый комплекс из гастропод (*Haustator* sp., *Athleta* sp. и др.), шести- (*Parasmilia biseriata* и др.) и восьмилучевых кораллов, брахиопод, ракообразных и губок. Известны находки чешуй и костей рыб. Редко встречаются морские ежи *Echinocorys* sp., морские звезды и морские лилии [Алексеев, 1989].

Отложения верхнего маастрихта представлены пачками XXII–XXIII и изучены в разрезе г. Беш-Кош и за пределами учебно-научного полигона МГУ у сел. Малое Садовое и Танковое (пачки XXII–XXIV) в долине р. Бельбек [Габдуллин, 2002, 2008]. Они согласно перекрывают отложения нижнего маастрихта, их мощность 40–80 м [Алексеев, 1989].

В разрезе г. Беш-Кош (рис. 2) мощность верхне-маастрихтских отложений оценивается в 48 м [Alekseev, Koraevich, 1997].

Пачка XXII. Серые и желто-серые песчаные мергели с фрагментами губок и кремневыми ходами ихнофауны (*Thalassinoides*). Присутствует несколько пластов плотных мергелей, выделяющихся в профиле выветривания. Содержание терригенной примеси достигает 32–38%. Мощность пачки 25–50 м [Алексеев, 1989], в разрезе г. Беш-Кош — 26 м [Alekseev, Koraevich, 1997].

Пачка XXIII. Желтовато-серые, песчаные, глауконитовые известняки с большим количеством поверхностей петротипа «твердое дно», линзами устриц (*Exogyra*, *Gryphaeaostrea*, *Pycnodonte*, *Lopha* и др.) и пектенид (*Chlamys*, *Entolium*, *Camptonectes*). Отметим присутствие пелелипод рода *Pholadomya*. Пачка содержит ростры белемнитов *Neobelemnella kazimiroviensis* и ядра аммонитов *Pachydiscus ex. gr. neubergicus*, что подтверждает ее позднемаастрихтский возраст. Породы, слагающие пачку, содержат богатый комплекс макрофоссилий. В кровле отмечены зеленовато-серые глауконитовые карбонатные (до 65% карбоната) песчаники [Алексеев, 1989]. Мощность пачки оценивается в 20–30 м, в разрезе плато Беш-Кош — 22 м [Alekseev, Koraevich, 1997]. В пачке установлены следы жизнедеятельности *Thalassinoides*.

Пачка XXIV. Мергели желтовато-сиреневые, алевроитовые, глауконитовые с многочисленными рострами белемнитов *Neobelemnella kazimiroviensis* и крупными раковинами пектенид *Entolium* sp. Мощность пачки 0–5 м [Алексеев, 1989]. В разрезе плато Беш-Кош эта пачка отсутствует [Alekseev, Koraevich, 1997].

Разрезы у сел. Малое Садовое и Танковое (рис. 1) расположены севернее сел. Малое Садовое, в долине р. Бельбек (Бахчисарайский район Юго-Западного Крыма) и описаны в геологической литературе [Найдин, Беньямовский, 2000; Габдуллин, 2002, 2008].

Пачка XXIV. Мергели и известковистые мергели желтовато-зеленовато-серые, алевроитовые, глауконитовые, с многочисленными рострами белемнитов *Neobelemnella kazimiroviensis*. Проведение маастрихт-датской границы в терминальной части верхнего маастрихта в рассматриваемом разрезе осложняется присутствием двух поверхностей перерыва. Верхний хардграунд, как и нижний, содержит ростры белемнитов. Расстояние между эрозионными поверхностями в разрезе 2,3–2,4 м. Мощность пачки 3,5–5,9 м.

Геохимические данные о маастрихтском интервале разреза Горного Крыма позволили рассчитать значения концентрации (ppm) для 29 элементов и соединений, а также 6 их отношений (модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности (рис. 2–11). Описанию этой методики посвящено множество работ, например [Енгальчев, Панова, 2011; Климат..., 2004; Склярков, 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.

Для анализа **вариации значений палеотемпературы** (рис. 2, 6, 9, 11) 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).

Рост концентрации Ca, Sr, Mg может указывать на аридный тип климата, а увеличение содержания Sc, Ni, Zn, Y, W, U, Cu, V и редкоземельных элементов (РЗЭ) — на гумидные условия седиментации.

Титановый модуль (ТМ) — 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. Различие значений ТМ свидетельствует о разной климатической обстановке. Гумидные, песчано-алевроитовые 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].

К показателям изменения глубины бассейна относятся отношения Fe/Mn, Ti/Mn, титановый модуль

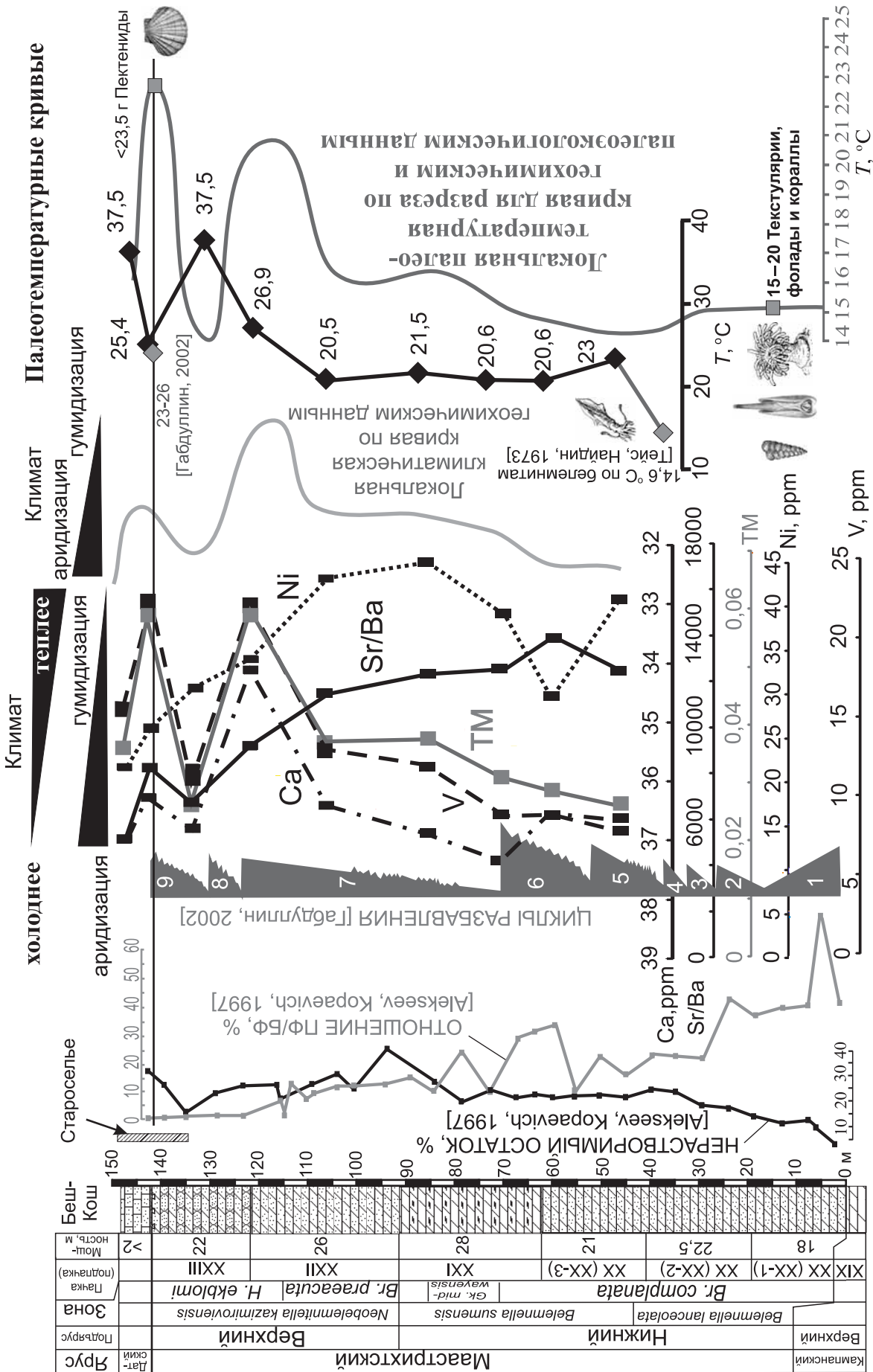


Рис. 2. Литологическая, палеонтологическая и геохимическая характеристики вариаций климата для разреза плато Беш-Кош. Условные обозначения см. на рис. 1

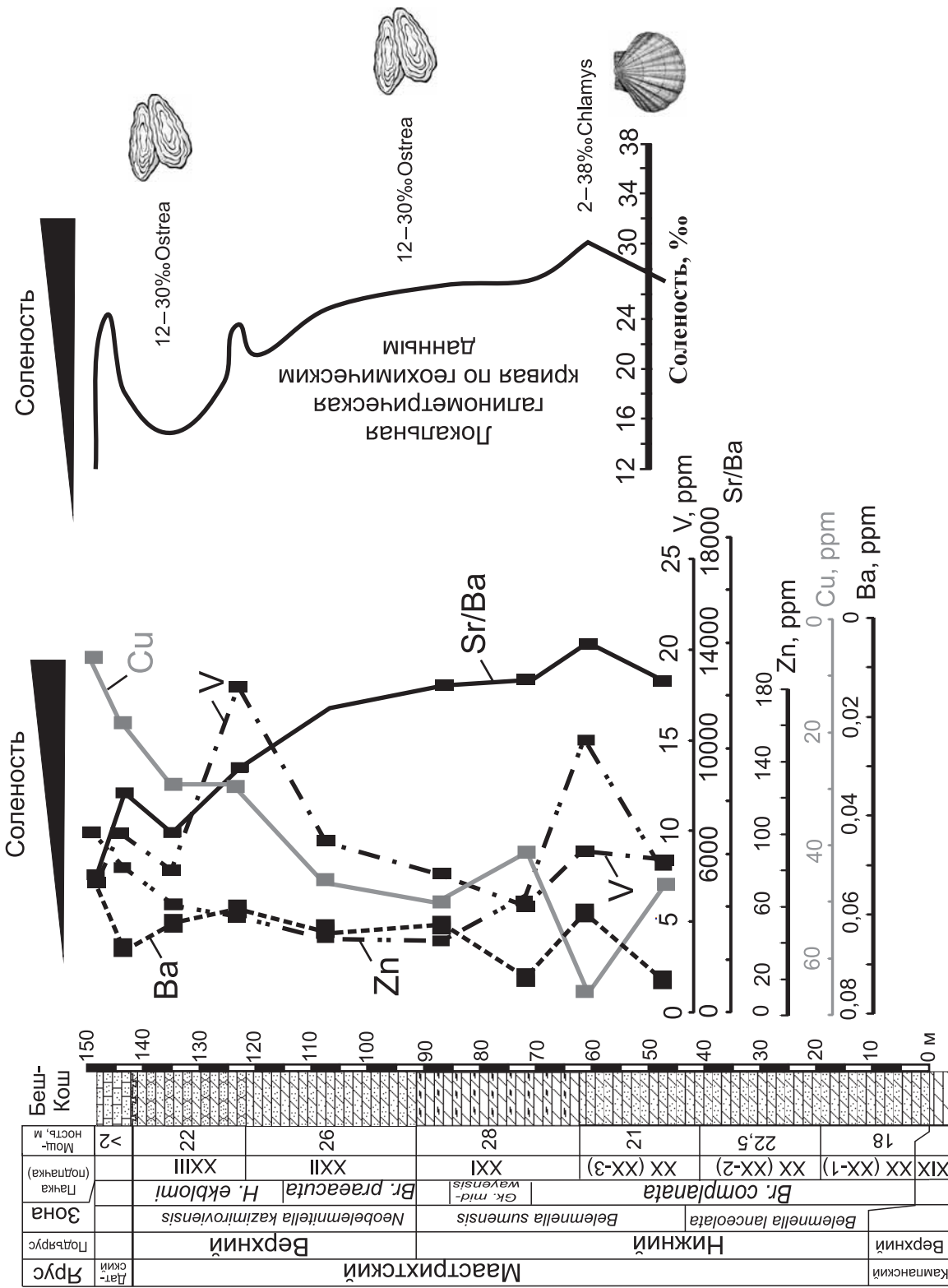


Рис. 3. Литологическая, палеонтологическая и геохимическая характеристики вариаций солености для разреза плато Беш-Кош. Условные обозначения см. на рис. 1

(ТМ), натриевый модуль (НМ), калиевый модуль (КМ), а также элементы Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, показывающие смещение фаций (рис. 4, 7, 10).

Отношение Fe/Mn. Уменьшение этого отношения соответствует увеличению глубины, а также переходу от шельфовых фаций к пелагическим. Тенденция к уменьшению этого отношения с глубиной осадконакопления обусловлена поглощением осадочными отложениями марганца из морских вод, которое сильнее проявляется в глубоководных условиях. По значению отношения Fe/Mn осадочные породы можно разделить на глубоководные (<40), мелководные (~80) и мелководно-прибрежные с преимущественно терригенным источником сноса (>160). Отношение Fe/Mn хорошо применимо к глинистым или глино-содержащим отложениям, в меньшей степени — к карбонатным [Скляров, 2001].

Калиевый модуль ($КМ = K_2O/Al_2O_3$) 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 [Енгальчев, Панова, 2011].

Натриевый модуль ($НМ = Na_2O/Al_2O_3$). Натрий обычно переносится в виде растворов и взвеси; его максимальная концентрация наблюдается в континентальных отложениях в условиях засушливого климата, а также в морских и озерных осадках в условиях влажного климата. Наиболее бедны натрием прибрежно-морские образования [Енгальчев, Панова, 2011].

Содержание Sr и Ba. Увеличение содержания стронция свидетельствует об удаленности терригенного материала от источника сноса, а повышение концентрации бария, 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 свинца и цинка вызвано приближением к источнику сноса и/или увеличением солёности бассейна.

Для анализа изменения солёности (рис. 3, 8, 10) использованы значения отношений Sr/Ba и Ca/Sr. При нарушении физико-химического равновесия солёного 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 суперсолёных растворах, где содержание Ca уменьшается практически до нуля, так как при увеличении солёности он замещается на Mg, содержащийся до этого в осадке. Следовательно, увеличение показателей Sr/Ba, Ca/Sr свидетельствует о повышении солёности раствора.

Концентрация B, Ba, S, Cr, Cu, Ga, Ni и V в морских осадках выше, чем в пресноводных.

Zn и Cu — также показатели солёности раствора, подвижность этих элементов напрямую зависит от солёности. В речных водах содержание Cu практически всегда постоянно, поэтому когда речная вода перемещается с морской, скорость выпадения Cu в осадок уменьшается с повышением солёности получаемого раствора. Подвижность Zn также уменьшается с повышением солёности.

Обсуждение геохимических данных. Полученные данные позволили реконструировать условия седиментации в Горном Крыму в маастрихтском веке.

Климат. Анализ геохимических данных по разрезу г. Беш-Кош (рис. 2) в целом показывает тренд к потеплению и гумидизации климата (за исключением пачки XXIII). Циклические вариации климата находят отражение в элементарной пластовой цикличности, в которой для всего маастрихта можно выделить 9 циклов разбавления, т.е. существенного увеличения сноса с суши [Габдуллин, 2002]. В разрезе снизу вверх наблюдается тенденция к увеличению объема сноса в виде опесчанивания карбонатных пород (мергелей), росту концентрации нерастворимого остатка от 5% для раннего маастрихта до 35–40% в позднем маастрихте [Alekseev, Koraevich, 1997]. Эта цикличность также коррелирует с циклическими вариациями отношения планктонных и бентосных фораминифер [Alekseev, Koraevich, 1997], указывающими на изменения палеоглубины. В распределении геохимических параметров по разрезу можно выделить две тенденции. Кривые концентрации V, Ca и ТМ подобны и показывают рост температуры и гумидизацию климата, кривые распределения отношения Sr/Ba и концентрации Ni, напротив, демонстрируют обратную зависимость — постепенное похолодание и аридизацию климата.

Наличие теплолюбивых кораллов и булимин, обитающих в умеренных водах, позволяет предположить наличие теплых или умеренно теплых водных масс во время фазы развития *Belemnella sumensis*. Палеотемпературы для этого времени, по данным изотопии, показывают повышение температуры морской воды от 14,6 °C [Тейс, Найдин, 1973] для верхней части пачки XX (фаза *Bg. complanata*) и, по нашим данным, до 37,5 °C для пачки XXIII (фаза *H. ekbloimi*); минимальные значения палеотемпературы (20,6 °C) нами получены для самого конца формирования отложений пачки XX и начала времени формирования пачки XXI, а также середины пачки XXII (20,5 °C).

Палеобатиметрические кривые

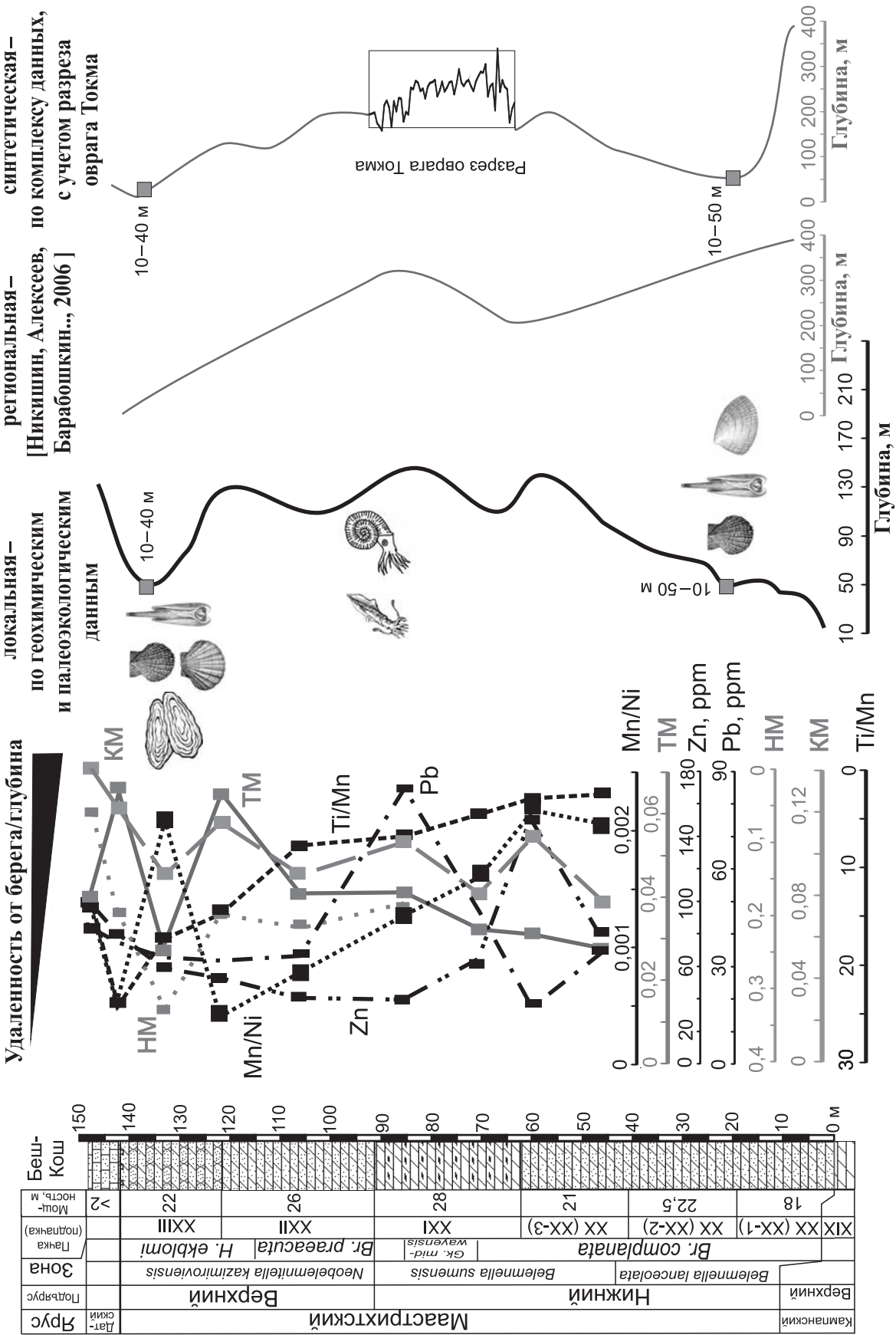


Рис. 4. Литологическая, палеонтологическая и геохимическая характеристики вариаций глубины для разреза плаги Беш-Кош. Условные обозначения см. на рис. 1

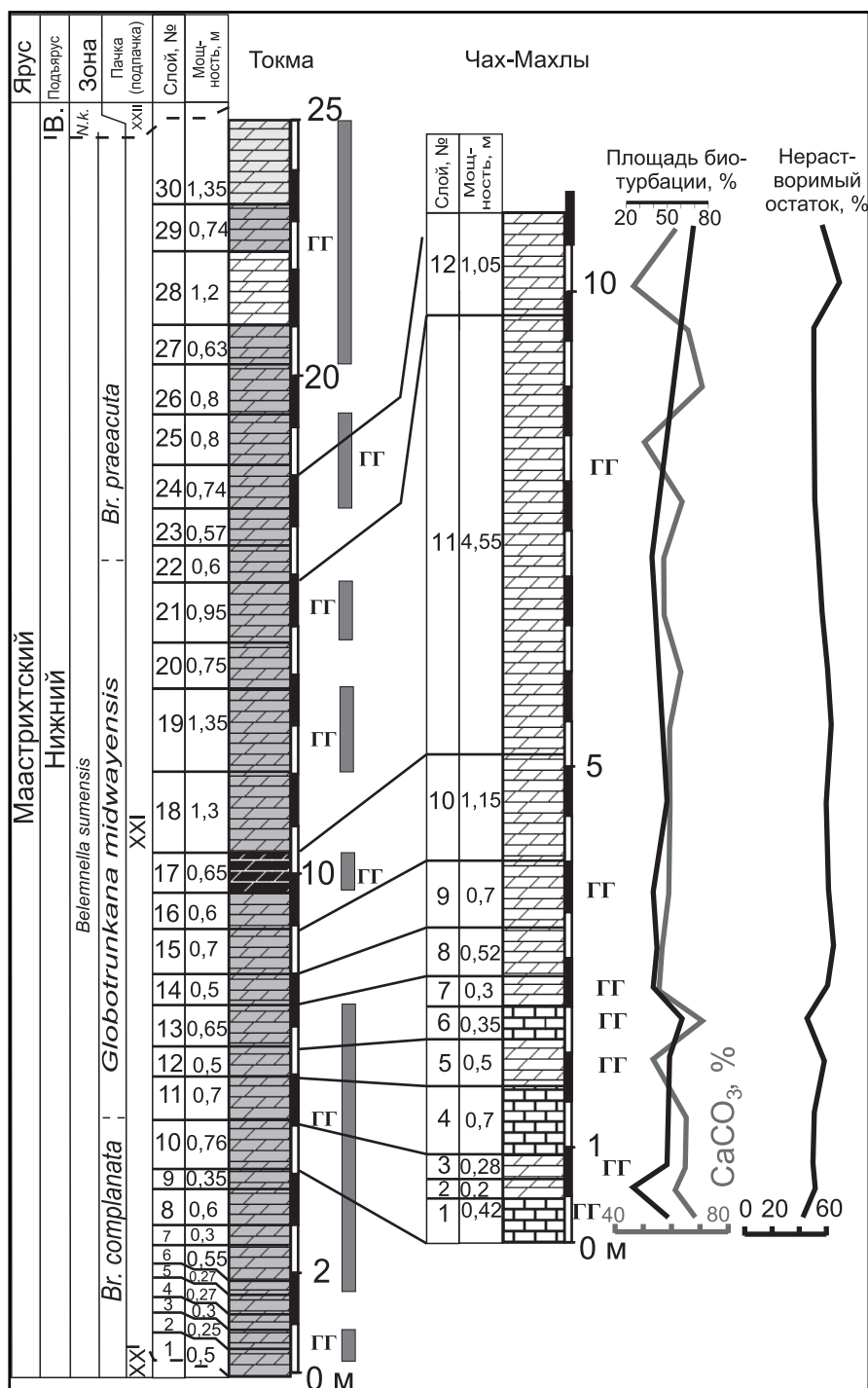


Рис. 5. Схема корреляции и литологическая характеристика разрезов нижнего маастрихта (пачка XXI) в долине р. Бодрак (овраги Токма и Чах-Махлы). Условные обозначения см. на рис. 1

Относительно низкие значения температуры в самом начале раннего маастрихта также подтверждены палеонтологически по наличию кораллов, фолад и текстулярий, указывающих на диапазон температуры от 15 до 20 °С. Присутствие в отложениях зоны *Nanzawaia ekblomi* (конец зоны *Belemnella kazimiroviciensis*) спор растений позволяет реконструировать флору побережья. Флора была представлена мангровыми зарослями, что свидетельствует о теплом тропическом климате [Алексеев, 1989].

Для отложений самого конца маастрихта (пачки XXIII, XXIV) характерны банки пектенид, обычно предпочитающих воду с температурой не выше 23,5 °С. Для пачки XXIV в разрезе Малое Садовое (Крым) определен температурный диапазон 23–26 °С. Сравнительно небольшой массив аналитических данных для этого разреза позволяет лишь говорить о принципиальном изменении температуры (потеплении), в отличие, например, от другого, существенно детальнее аналитически охарактеризованного разреза овр. Токма.

Именно поэтому нами выбрана геохимическая модель потепления и гумидизации, подтверждаемая палеотемпературными данными. Самый конец маастрихтского века (время аккумуляции пачки XXIV) характеризуется разбросом значений температуры морской воды от 23 до 26 °С [Габдуллин, 2002].

Соленость. Анализ кривых распределения концентрации Zn и Ba (рис. 3) показывает слабую, почти фоновую вариацию солености. Содержание V и Si возрастает вверх по разрезу. Отношение Sr/Ba уменьшается к кровле маастрихтских отложений. В пачке XX отмечены находки эвригалинных двустворчатых моллюсков рода *Chlamys*, существующих в широком диапазоне солености от 2 до 38‰ [Габдуллин, 2002]. Циклическое изменение солености по фораминиферам в циклично построенном разрезе отложений фазы *Belemnella lanceolata* свидетельствует о флуктуации солености [Габдуллин, 2002]. Прослой с цибицидесами и боливинами (нормальная соленость, благоприятные условия) чередуются с прослоями, богатыми текстуляриями (неблагоприятные условия). В пачках XXI и XXIII встречаются эвригалинные устрицы рода *Ostrea*, обитающие в сравнительно меньшем диапазоне солености — от 12 до 30‰ [Габдуллин, 2002]. Сопоставив палеонтологические и геохимические данные, предлагаем локальную синтетическую галинометрическую кривую, демонстрирующую, что соленость океанских вод плавно понижалась с отдельными эпизодами осолонения на границах пачек XX и XXI, в верхней части пачки XXII и на границе пачек XXIII и XXIV.

Глубина. Характер кривых распределения геохимических параметров (рис. 4) сложен для интер-

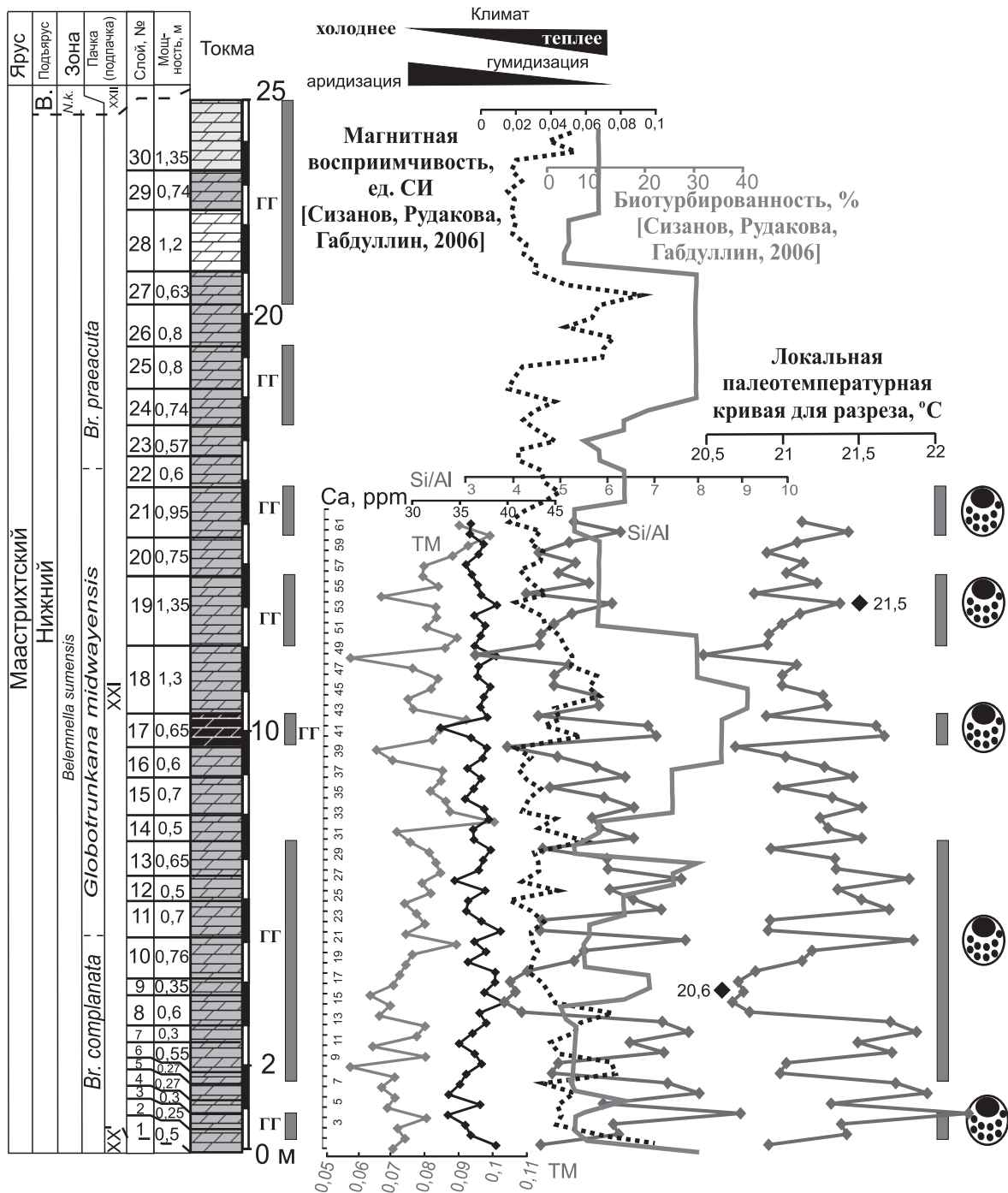


Рис. 6. Литологическая, палеонтологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций климата для разреза нижнего маастрихта (пачка XXI) в овраг. Токма. Условные обозначения см. на рис. 1

претации. Очевидно, что имели место вариации этих параметров. Их суммирование позволяет построить локальную палеобатиметрическую кривую с фиксированными диапазонами палеоглубины по моллюскам-индикаторам, встречаемым в пачках XX, XXI и XXIII. В пачке XXI широко распространены нектонные моллюски — аммониты и белемниты, что указывает на сравнительно большую палеоглубину, в отличие от пачек XX и XXIII, в которых встречаются комплексы двустворчатых моллюсков типа *Pecten* и *Pholadomya*, а также *Chlamys* (пачка XXIII), *Nucula* (пачка XXI), со-

существующих вместе в диапазоне глубины ≤40–50 м. Для отложений фазы *Belemnella lanceolata* характерен цибицидесово-булиминовый комплекс фораминифер. Отмечается их циклическое распределение в ритмах. Слои с цибицидесами и булиминами (относительно менее глубоководными) чередуются с булиминовыми слоями (относительно более глубоководные).

Состав палеоценоза включает планктон с карбонатным скелетом. Бентосные формы макрофоссилий преобладают (более 30 родов, 42 вида) над нектонными (3 рода, 3 вида). Отмечена [Алексеев,

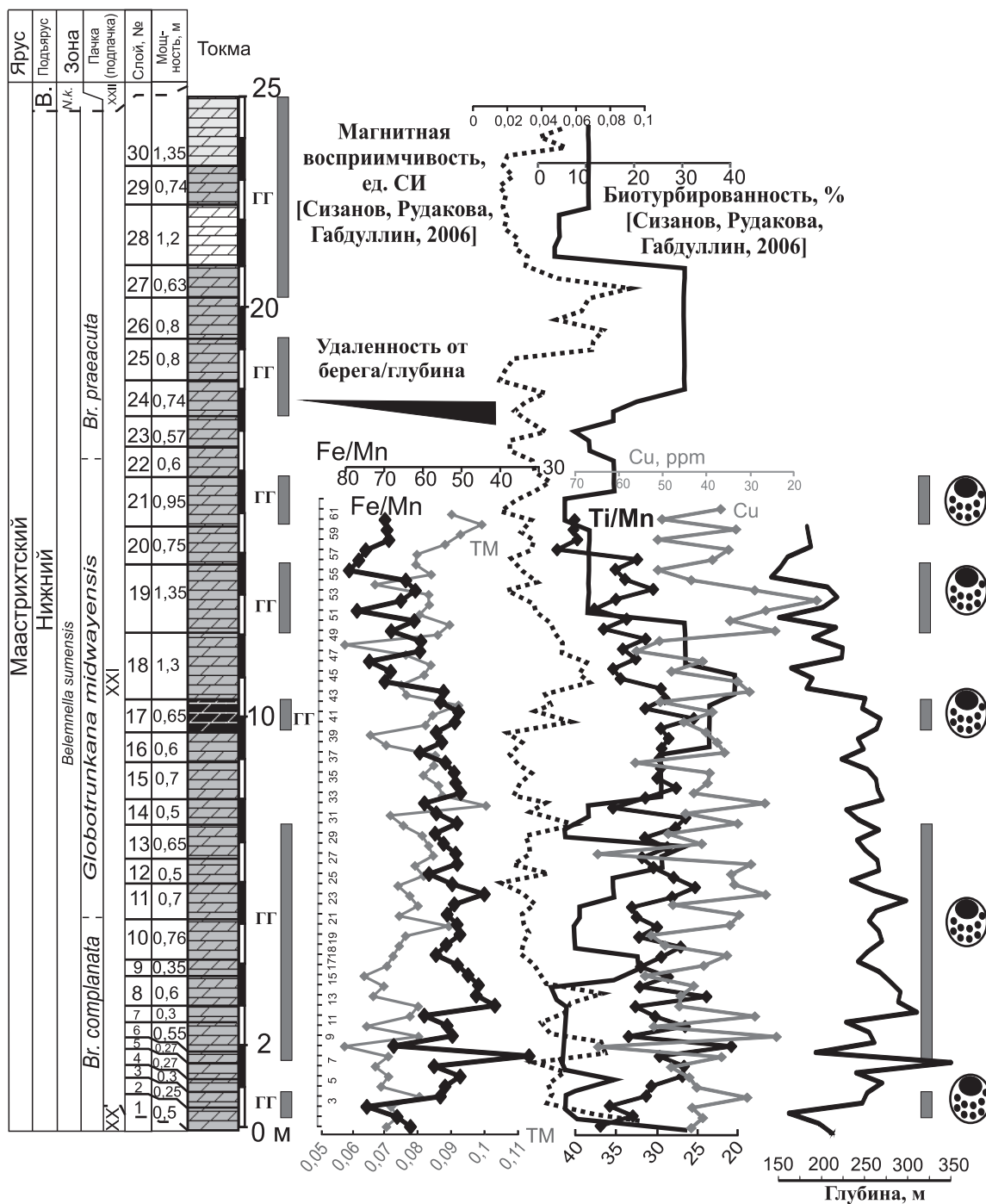


Рис. 7. Литологическая, палеонтологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций глубины для разреза нижнего маастрихта (пачка XXI) в овра. Токма. Условные обозначения см. на рис. 1

1989] значительная доля пелеципод в биоценозе (15 родов, 24 вида), что свидетельствует об относительной мелководности бассейна [Габдуллин, 2002]. Для отложений зоны *Brotzenella complanata* (начало зоны *Belemnitella kazimiroviensis*) характерен глубоководный цибицидесово-булиминово-боливиновый комплекс фораминифер. Отмечается флуктуация глубины бассейна, что следует из циклического распределения фораминифер в ритмичной толще. Прослой с цибицидесами (относительно мелководными) чередуются с прослоями булимин и боливин (относительно глубоководными) и подчиненных цибицидесов. Пелециподы отсутствуют, встречаются редкие аммониты и белемниты.

Состав палеоценоза отложений зоны *Hanzawaia ekblomi* (конец зоны *Belemnitella kazimiroviensis*) включает планктон с карбонатным скелетом, бентосные формы макрофоссилий преобладают (20 родов, 29 видов) над нектонными (2 рода, 2 вида). В состав палеоценоза макрофауны входят пелециподы, брахиоподы, ракообразные и белемниты, аммониты [Алексеев, 1989]. Это свидетельствует об относительной мелководности бассейна. В рассматриваемых отложениях встречаются в большом количестве пелециподы, обычно характеризующие следующие значения глубины: *Pecten* — 10–50 м, *Chlamys* — 2–50 м, *Ostrea* — 40–100 м, *Pholadomya* — 1–10 м. Предполагаемая

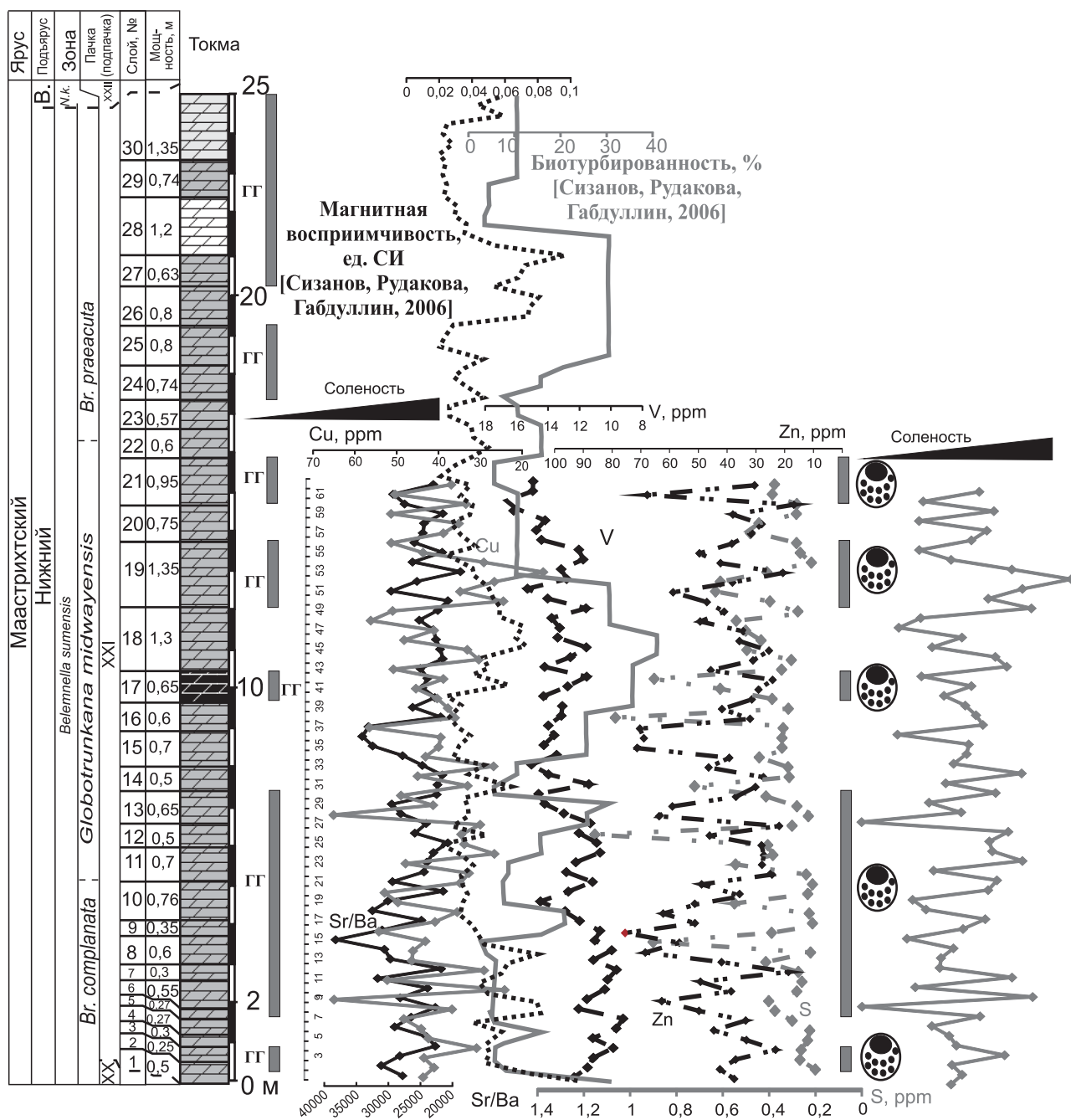


Рис. 8. Литологическая, палеонтологическая, петромагнитная и геохимическая характеристики вариаций солёности для разреза нижнего маастрихта (пачка XXI) в овраг Токма. Условные обозначения см. на рис. 1

глубина бассейна составляла 10–40 м. Таким образом, имели место флуктуации глубины бассейна.

С учетом геохимических и палеонтологических данных построена локальная палеобатиметрическая кривая, которая хорошо коррелирует с большей частью региональной палеобатиметрической кривой. Региональная палеобатиметрическая кривая [Никишин и др., 2006] демонстрирует понижение эвстатического уровня океана на протяжении маастрихта с небольшой трансгрессивной фазой во время формирования пачки XXI (фаза Gk. midwayensis). С учетом всего комплекса данных разработана синтетическая палеобатиметрическая кривая, фрагмент которой

можно построить более детально, используя хорошо опробованный разрез отложений пачки XXI в овраг Токма. Диапазон палеоглубины в маастрихтском веке на территории Крыма менялся от 10 до 400 м.

Разрезы овраг Токма и Чах-Махлы. Разрезы отложений пачки XXI, расположенные на противоположных берегах р. Бодрак у с. Скалистое, были изучены ранее в ОВР Токма [Сизанов, Рудакова, Габдуллин, 2006] и Чах-Махлы [Габдуллин и др., 2007]. Схема расположения этих разрезов приведена на рис. 1, а сопоставление — на рис. 5. Пачка представлена циклически переслаивающимися разностями мергелей, некоторые из которых содержат большое количество

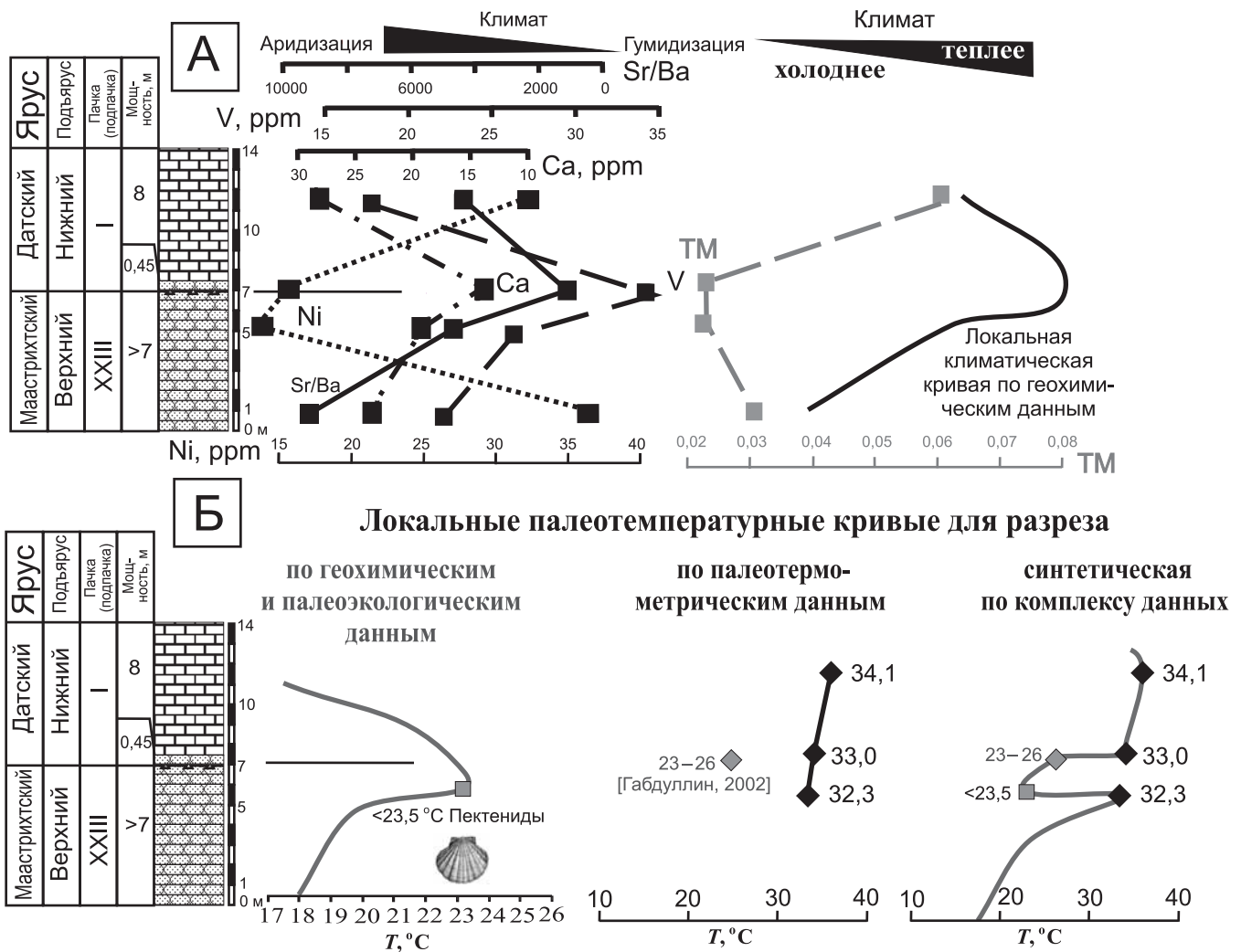


Рис. 9. Литологическая, палеонтологическая и геохимическая характеристики вариаций климата для разреза мел-палеогеновой границы в Староселье. Условные обозначения см. на рис. 1

губок, поэтому названы губковыми горизонтами (ГГ). Губковые горизонты могут иметь мощность от нескольких дециметров до нескольких метров. На схеме сопоставления видно, что мощности слоев (или их групп) этих двух разрезов почти всегда совпадают. В разрезе овр. Токма доминируют мергели серого цвета с единичными слоями черного (слой № 17), светло-серого (слой № 30) и белого (слой № 28) цвета. В разрезе овр. Чах-Махлы в толще мергелей пачки XXI можно выделить отдельные слои известняков № 1, 4 и 6. Содержание нерастворимого остатка (рассчитанное по описаниям шлифов), концентрация CaCO_3 (определенная химическим методом), а также площадь биотурбации в разрезе овр. Чах-Махлы менялись мало.

В результате анализа комплекса физических, химических, палеонтологических и петрографических данных вместе с макроскопическими наблюдениями не выявлены принципиальные отличия в строении губковых и безгубковых горизонтов для овр. Чах-Махлы. Таковую цикличность авторы работы [Габдуллин и др., 2007] объясняли периодическим приносом аллохтонных губок из более мелководных

участков бассейна на фоне эвстатических вариации уровня океана и/или переориентировкой направления донных течений.

Для овр. Токма тоже на основе сходства губковых и безгубковых прослоев в работе [Сизанов и др., 2006] была предложена новая методика выделения пластовых циклитов, итогом которой стало вычленение в разрезе интервалов, отвечающих трансгрессивным и регрессивным событиям, а также фазам потепления и похолодания климата. Ранее [Сизанов и др., 2006] были установлены трансгрессивные (слои 1, 3–7, 8–12, 14–16, 17–20 и др.) и регрессивные (слои 2, 13, 21–25 и др.) эпохи, а также этапы с относительно теплым (слои 2, 3, 8–12, 15–16, 17–20, 21 и др.) и холодным (слои 1, 3–7, 12–14 и др.) климатом.

Губковые горизонты отвечают времени начала потепления и гумидизации климата (рис. 6). Однозначной корреляции ГГ с увеличением объема терригенной примеси и изменением объема биотурбированных пород не наблюдается. Вариации климата геохимически подтверждены колебанием отношения Si/Al , ТМ и концентрацией Са. В качестве ключевой кривой для оценки вариаций климата был выбран

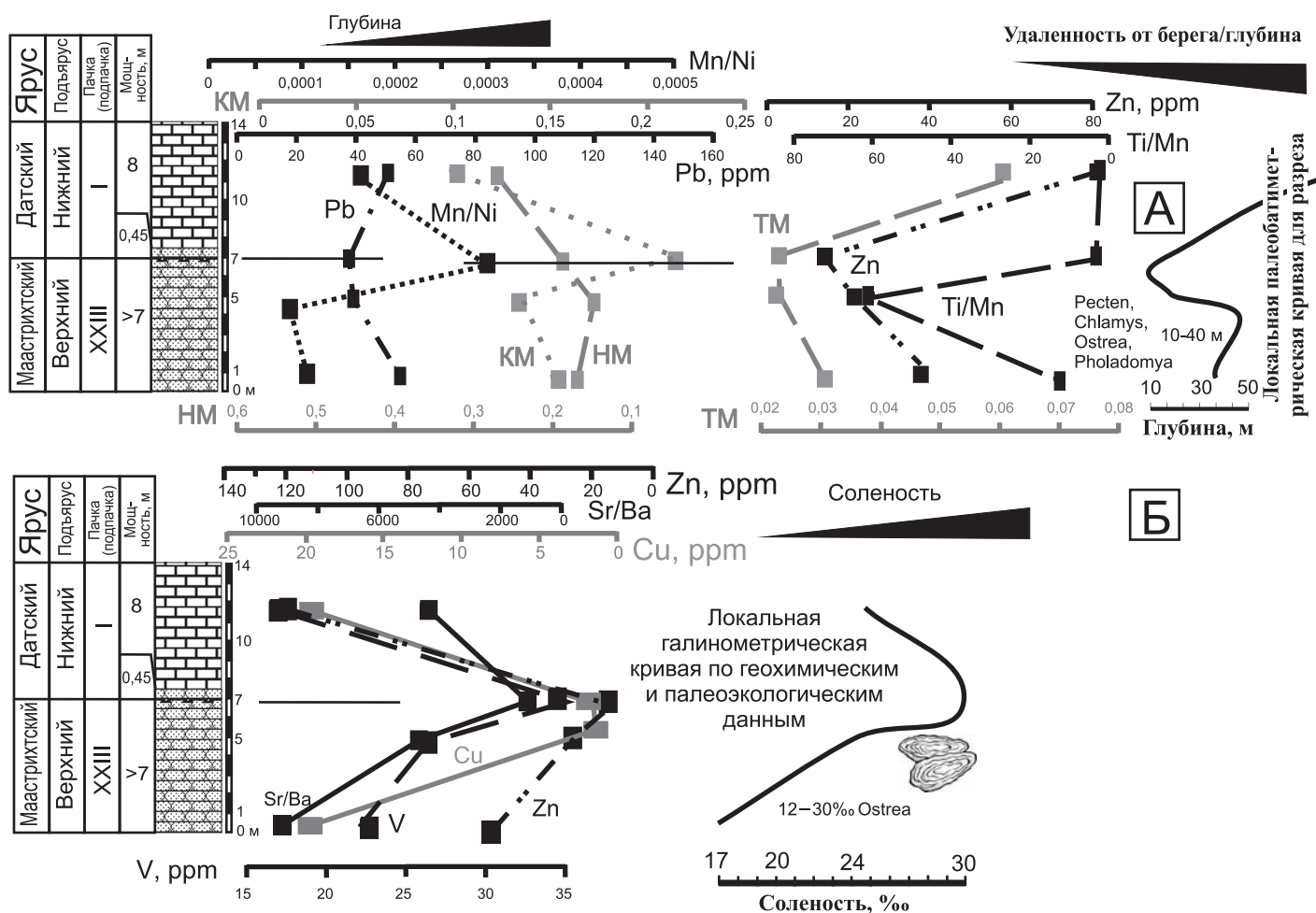


Рис. 10. Литологическая, палеонтологическая и геохимическая характеристики вариаций глубины (А) и солености (Б) для разреза мел-палеогеновой границы в Староселье. Условные обозначения см. на рис. 1

график распределения отношения Si/Al. Сопоставив положение точек, для которых есть палеотемпературные данные, в разрезе отложений пачки XXI на г. Беш-Кош и в разрезе оврага. Токма удалось определить диапазон флуктуаций палеотемпературы морских вод (от 20,5 до 22 °С). Как правило, начало (подшва) ГГ отвечает потеплению, а его конец (кровля) — похолоданию.

Вариации палеоглубины (рис. 7) подтверждены характером распределения содержания Cu, ТМ, отношений Fe/Mn и Ti/Mn. Наиболее представительна кривая распределения отношения Fe/Mn. При построении локальной палеобатиметрической кривой величины глубины были взяты с региональной кривой из работы [Никишин и др., 2006] и по литературным данным. Обычно начало (подшва) ГГ совпадает с относительным углублением бассейна и/или возможным ослаблением терригенного сноса, а его конец (кровля) — с относительным обмелением и/или возможным усилением терригенного сноса. Вариации палеоглубины также подтверждены формой кривой распределения магнитной восприимчивости (рис. 7) по разрезу. Ее уменьшение отвечает трансгрессии и отдалению береговой линии с источником сноса ферромагнитных минералов, а увеличение — регрес-

сии и приближению источника сноса. Подчеркнем хорошую корреляцию кривой магнитной восприимчивости и кривой отношения Fe/Mn.

Изменение солености (рис. 8) фиксируется вариациями содержания Zn, V, Cu и отношением Sr/Ba. В качестве наиболее представительной кривой для оценки вариаций солености была выбрана кривая содержания Cu. Время начала формирования ГГ коррелирует с увеличением солености, а его конец — с понижением солености. В итоге один губковый горизонт отвечает одному климатическому циклу (потепление-похолодание), одному эвстатическому циклу (трансгрессия-регрессия) и одному циклу изменения солености (осолонение-опреснение).

Разрез Староселье. Небольшой по мощности разрез терминального маастрихта и базального дания (рис. 9) исследован в районе бывшего с. Староселье на северо-восточной окраине г. Бахчисарай (рис. 1, разрез № 1). Вариации климата и температуры подтверждаются циклическим распределением содержания Ca, V, Ni, значениями отношения Sr/Ba и ТМ. Только значения содержания Ni и ТМ выбиваются из общего тренда прочих перечисленных выше параметров. Суммировав данные распределения Ca, V и отношения Sr/Ba, мы построили локальную клима-

Локальные палеотемпературные кривые

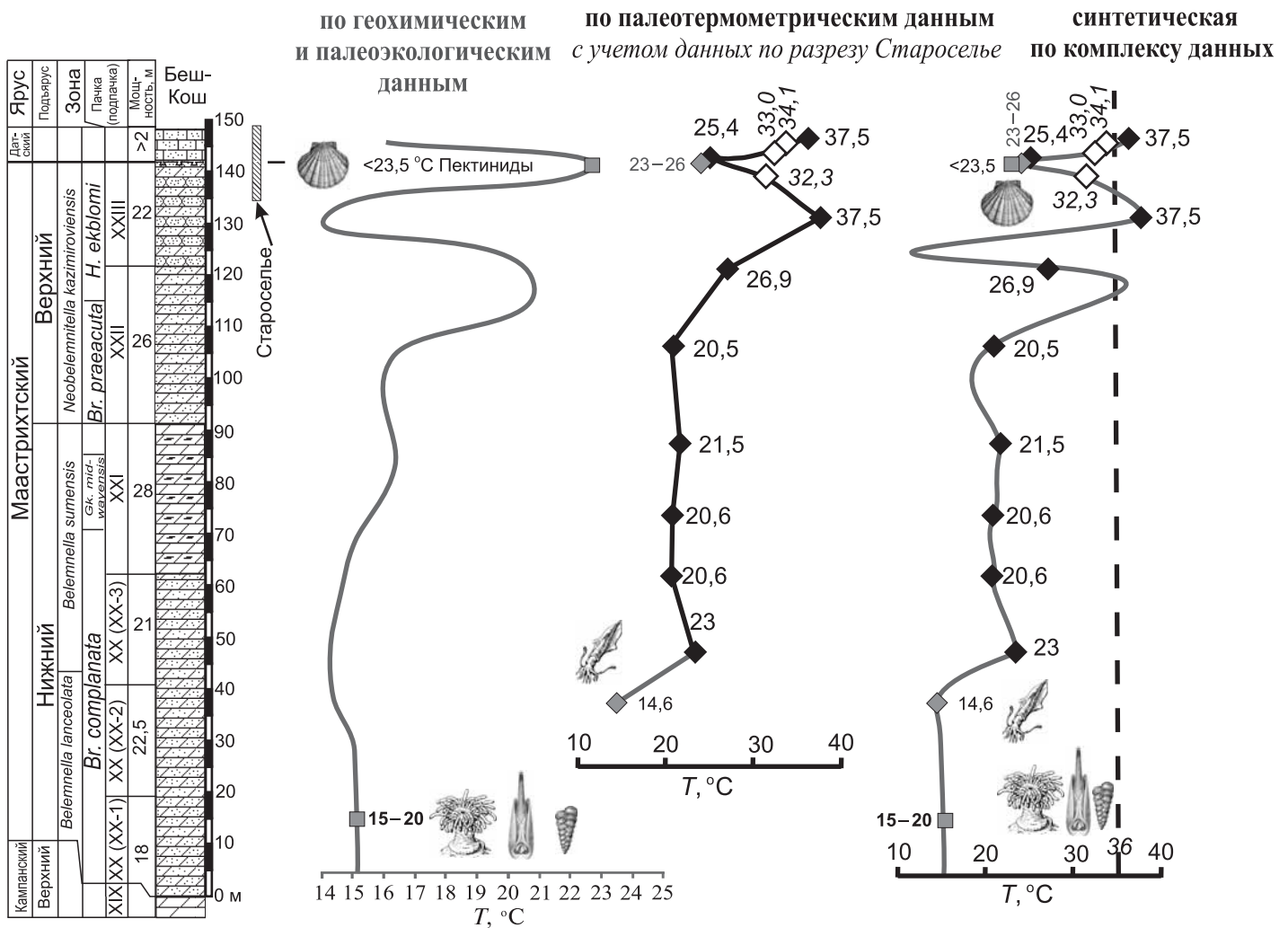


Рис. 11. Палеотемпературная характеристика для разреза плато Беш-Кош. Пунктирной линией показано наивысшее значение температуры морской воды в современных морских и океанических бассейнах, равное 36 °С. Условные обозначения см. на рис. 1

тическую кривую по геохимическим данным (рис. 9, А). Скоррелировав полученный результат с данными о распределении организмов — индикаторов условий окружающей среды (например, пектенид), итогом палеотермометрических исследований (получен диапазон температуры от 32,3 до 34,1 °С) и учитывая литературные данные [Габдуллин, 2002], мы предлагаем синтетическую локальную палеотемпературную кривую (рис. 9, Б). Из ее анализа видно, что границе отложений мела и палеогена в разрезе Староселье отвечает похолодание до 23 °С.

Вариации глубины бассейна в конце маастрихта фиксируются в этом разрезе по значениям концентрации Pb, Zn, отношений Mn/Ni и Ti/Mn, модулям ТМ, КМ, НМ, при этом распределение КМ и отношения Mn/Ni характеризуются трендом, противоположным тренду у прочих перечисленных выше параметров. С учетом моллюсков — индикаторов условий окружающей среды (*Pecten*, *Chlamys*, *Ostrea*, *Pholadomya*), совместно существовавших в диапазоне глубины

10–40 м и установленных в разрезе, а также региональной палеотермометрической кривой [Никишин и др., 2006] мы построили локальную палеотермометрическую кривую для мелководноморского разреза Староселье.

Соленость в конце маастрихтского века в этой окраинной части океана Тетис увеличивалась (рис. 10, Б), но не превышала 30‰ (критическое значение для устриц рода *Ostrea*). Тенденция к росту солености установлена по содержанию V, Cu, Zn и отношению Sr/Ba.

Таким образом, полученный комплекс данных для четырех разрезов Бахчисарайского района Крыма с учетом данных по Севастопольскому району позволяет уточнить палеотемпературные оценки, приведенные на рис. 11. Расчетные значения температуры для конца маастрихта по разрезам Староселье и Беш-Кош хорошо коррелируют между собой.

Заключение. На основе комплексного изучения отложений маастрихта в четырех разрезах в Бахчисарайском районе (Староселье, Беш-Кош, Чах-Махлы

Геологическая история

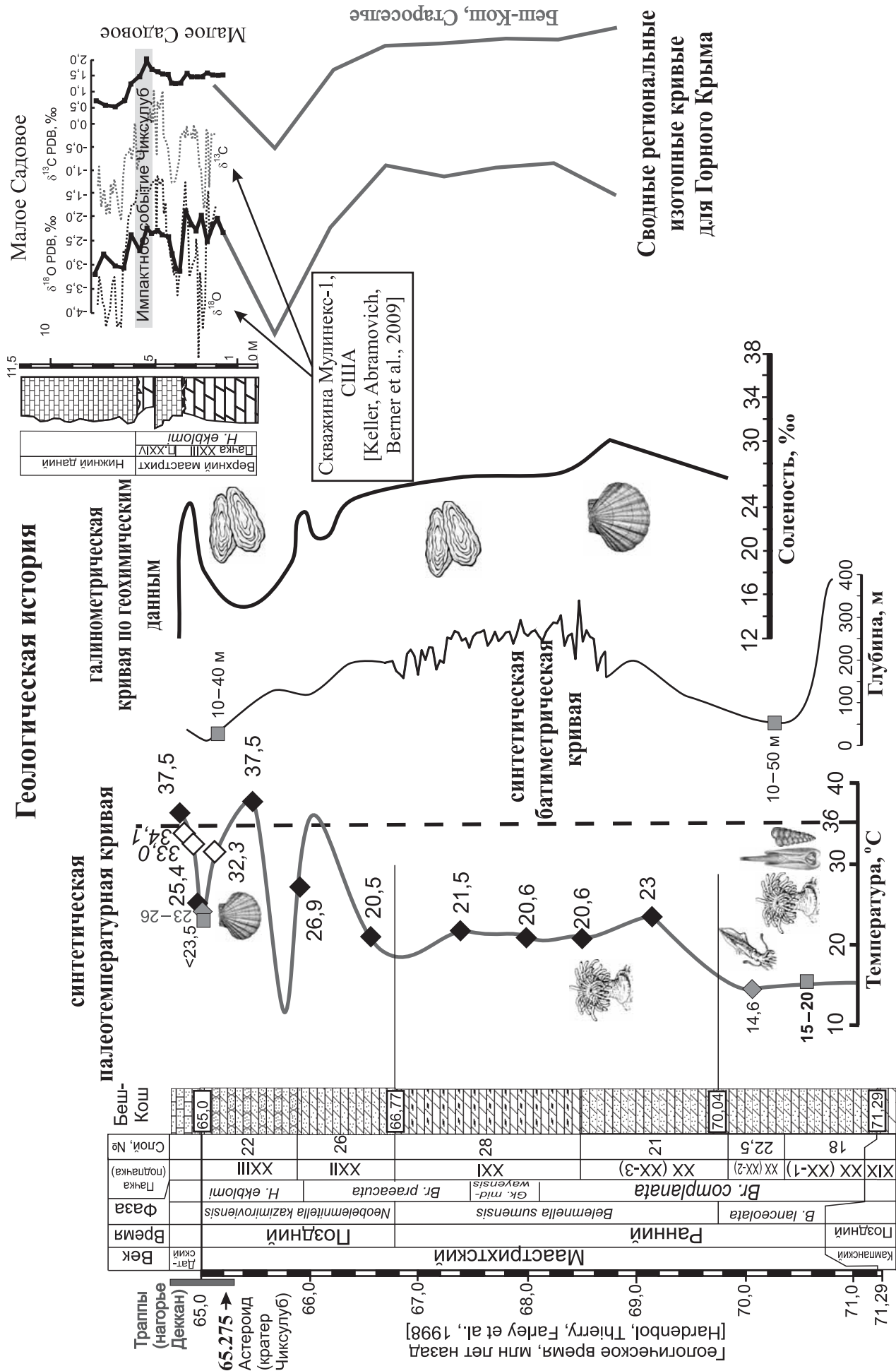


Рис. 12. Геологическая история Бахчисарайского района в маастрихтском веке. Условные обозначения см. на рис. 1

и Токма) и двух разрезов в Севастопольском районе (Малое Садовое, Танковое) детализированы условия седиментации на южной окраине океана Тетис (рис. 12). Использована шкала времени, взятая из работы [Hardenbol et al., 1998].

Предложены модели вариаций температуры, солености и глубины для окраины океана Тетис в маастрихтском веке.

В целом на протяжении маастрихтского века температура океанских вод повышалась от 14,6 °С в начале века до 37,5 °С к его концу. Потепление климата проходило на фоне кратковременной регрессии в начале раннего маастрихта, позднее сменившейся поступательной трансгрессией, длившейся до середины века, затем во второй половине маастрихта началась регрессия с коротким трансгрессивным импульсом в самом конце века. Диапазон вариации глубины отличался на порядок, приблизительно от 40 до 400 м. Трансгрессия сопровождалась увеличением солености океанских вод (до 30‰), а регрессия — понижением солености вод (до 12–24‰).

Сильные вариации и высокие значения температуры в самом конце маастрихта могут быть связаны с событиями глобального масштаба — падением астероида диаметром около 11 км в Атлантический океан (кратер Чиксулуб) и излиянием базальтовых траппов на нагорье Деккан в Индии (рис. 12). Также

на $\delta^{18}\text{O}$ могли повлиять минеральный состав накапливающихся карбонатов и соленость воды, что в итоге привело к повышенным значениям полученной температуры.

Детальное исследование природы цикличности отложений пачки XXI, содержащей губковые и безгубковые прослои, показало, что, как правило, начало (подошва) губковых горизонтов отвечает относительному потеплению, углублению и/или возможному ослаблению терригенного сноса и увеличению солености тетических вод, а их конец (кровля) — похолоданию, относительному обмелению и/или возможному усилению терригенного сноса и понижению солености вод океана Тетис.

На основе имеющихся данных по разрезам Староселье, Беш-Кош и Малое Садовое составлены сводные региональные кривые вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ (рис. 12) для маастрихтских отложений в Горном Крыму. При сопоставлении этих кривых с кривыми флуктуаций $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в разрезе скважины Мулинекс-1 (Техас, США [Keller et al., 2009]) получена хорошая хемотратиграфическая корреляция, позволяющая определить стратиграфическое положение уровня импактного события в конце маастрихта в разрезах Горного Крыма, а также проводить хемотратиграфическое сопоставление разрезов Горного Крыма с разрезами других регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.С. Верхний мел // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя / Под ред. О.А. Мазаровича, В.С. Милеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. С. 123–135.

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. Строение и условия формирования отложений терминального маастрихта разреза с. Танковое, Юго-Западный Крым // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2008. № 4. С. 4–10.

Габдуллин Р.Р., Первушов Е.М., Толстова Н.В. Строение и генезис цикличной толщи переслаивания губковых и безгубковых горизонтов нижнего маастрихта Бахчисарайского района Юго-Западного Крыма // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 1. С. 17–21.

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.

Каплин П.А., Янина Т.А. Методы палеогеографических реконструкций: Метод. пособие. М., 2010. 430 с.

Найдин Д.П., Беньямовский В.Н. О ярусном делении палеогена // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. № 8 (4). С. 65–83.

Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Гл. редакторы М.А. Семихатов, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 2004. 299 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 550).

Никишин А.М., Алексеев А.С., Барбошкин Е.Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма: Учеб. пособие по Крымской практике. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006.

Сизанов Б.И., Рудакова А.В., Габдуллин Р.Р. Новая методика выделения ритмов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2006. № 1. С. 25–31.

Склярков Е.В. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет-Инжиниринг, 2001.

Тейс Р.В., Найдин Д.П. Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органогенных 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.

Alekseev A.S., Kopaevich L.F. Foraminiferal biostratigraphy of the uppermost Campanian–Maastrihtian in SW Crimea (Bakhchisaray and Chakhmakhly sections) // Bull. Inst. Roy. des sciences naturelles de Belgique. Sci. de la Terre. 1997. Vol. 67. P. 103–118.

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.

Keller G., Abramovich S., Berner Z., Adatte T. Biotic effects of the Chicxulub impact, K–T catastrophe and sea level change in Texas // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2009. Vol. 271. P. 52–68.