

УДК 551.3.051:551.763.333 (477.7)

Р.Р. Габдуллин¹, Е.Н. Самарин², А.В. Иванов³, Н.В. Бадулина⁴, Е.Ю. Фомин⁵,
М.А. Афонин⁶, Д.В. Игтисамов⁷

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В КРЫМСКОМ БАССЕЙНЕ В РАННЕКАМПАНСКОЕ ВРЕМЯ⁸

Впервые комплексно литологическими и геохимическими методами исследованы условия формирования циклично построенной толщи переслаивания глин и мергелей, известняков в нижнекампанском интервале кудринской свиты. Предложены модели вариаций температуры, солености и глубины в Горнокрымской части океана Тетис для раннекампанского времени.

Ключевые слова: меловой период, кампанский век, периодиты, цикличность, вулканизм, геохимия, палеогеография, глубина, соленость, температура, Крым.

The forming conditions of cyclic unit of alteration of clay with marls and limestones within Lower Campanian interval of Kudrino Formation by lithological and geochemical methods in a complex way was provided for the first time. Models explaining variations of temperature, salinity and bathymetry at the Mountainous Crimean part of Tethys were proposed for the Early Campanian time.

Key words: Cretaceous, Campanian, periodites, cyclicity, volcanism, geochemistry, paleogeography, bathymetry, salinity, temperature, Crimea.

Введение. Поиск, разведка и последующее освоение месторождений полезных ископаемых и активное строительство в Черноморском регионе требуют обобщения геологических данных. В процессе интеграции различных видов информации необходимо на современном научном уровне пересмотреть имеющиеся архивные данные и доизучить геологическое строение с целью последующей детализации условий седиментации и восстановления палеогеографических обстановок. Комплексное литолого-геохимическое исследование кампанских отложений Горного Крыма, содержащих прослойки кировых глин, представляется актуальным с позиции стратиграфии, детальной корреляции седиментологии, палеогеографии и истории геологического развития.

Исследуемая толща содержит региональный маркирующий уровень монтмориллонитовых (так называемых кировых или кефеллитовых) глин, включающий несколько горизонтов суммарной

мощностью несколько метров и прослеживаемый от Севастополя до Симферополя в пределах листов L-36-XXVII (Евпатория), L-36-XXXIV (Севастополь) и L-36-XXIX (Симферополь) геологического доизучения площадей масштаба 1:200 000 (ГДП-200), а также образовавшихся при подводном выветривании вулканических пеплов андезитового состава. Предполагается, что вулканический пепел поступал из Центральных–Восточных Понтид в Турции, в которых на кампан приходится максимум андезитового островодужного вулканизма [Никишин и др., 2006; Афанасенков и др., 2007].

Кировые глины добывались для нужд косметологии, фармацевтики и металлургии в непромышленном и промышленном масштабах в ряде месторождений Горного Крыма в XIX–XX вв. открытым и шахтным способами (например, Курцовское месторождение) [Попов, 1943].

Представленные в статье результаты изучения разреза горы Кизил-Чигир — одной из обязатель-

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:* samarinen@mail.ru

³ Саратовский государственный технический университет, 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:* foma92@list.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант; *e-mail:* mihaile282@gmail.com

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; *e-mail:* dinar.igtisamov@rambler.ru

⁸ Работа поддержана Министерством образования и науки (гранты СГТУ-141 и СГТУ-146), Программой стратегического развития СГТУ имени Ю.А. Гагарина на 2012–2016 годы (тема 2.1.6. «Развитие учебно-научной лаборатории инженерной геоэкологии»), а также РФФИ (гранты № 14-05-31171, 14-05-31538 мол_а, 12-05-00263а).

ных картировочных точек геологических практик студентов МГУ имени М.В. Ломоносова и других вузов в Бахчисарайском районе Крыма — будут, на наш взгляд, представлять большой практический и научно-образовательный интерес. Полученные данные востребованы в свете геологоразведки Черноморского региона, строительства и развития инфраструктуры в Крыму.

Методика работ. В Бахчисарайском районе Крыма в пределах полигона учебной практики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на площади листа геологической карты L-36-XXIX изучен разрез нижнекампанских отложений, расположенный в 25–30 м от автодороги Скалистое–Научный, между сс. Скалистое и Трудолюбовка, в скальном выступе на юго-западном склоне горы Кизил-Чигир и ранее описанный в работах [Алексеев, 1989; Габдуллин, 2002]. По результатам предшествующих исследований этого разреза для 28 образцов определено содержание CaCO_3 , $\text{C}_{\text{орг}}$ и оценена степень биотурбации пород. В итоге предложены факторы, генерировавшие цикличность, — циклы разбавления (ЦР) и циклы растворения (ЦРС) [Габдуллин, 2002].

Выполнен полный геохимический анализ элементов для 25 образцов пород на рентгенофлуоресцентном спектроскане 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.

Характеристика нижнекампанских отложений Юго-Западного Крыма. Карбонатные породы кампана образуют наиболее мощный (до 200 м) и выдержанный комплекс отложений верхнего мела. На большей части Юго-Западного Крыма они согласно залегают на сантонских отложениях, однако начиная с меридиана долины р. Бодрак (район исследований) и далее на северо-восток они залегают на разных горизонтах турона и коньяка. В районе г. Симферополь породы кампана залегают на нижнемеловых отложениях. Обнажения кампанских пород обычно приурочены к продольным долинам между куэстовыми грядами. Из-за мягкости мергелей выходы кампанских отложений плохо обнажены, задернованы, элювиированы [Алексеев, 1989].

В составе отложений нижнего подъяруса кампана, отвечающих зоне *Micraster shroederi*, выделяют 3 пачки (XVI–XVIII), верхнему подъярису отвечает пачка XIX, соответствующая зоне *Belemnitella langei*. Отложения верхней части яруса по мощности доминируют (таблица).

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

Ярус	Подъярус		Пачка	Характеристика отложений и мощность
	верхний	нижний		
Кампанский	верхний	<i>Belemnitella langei</i>	XIX	Мергели серые и желтовато-серые, с тонкими примазками зеленого глинистого материала, 100–120 м
	нижний	<i>Micraster schroederi</i>	XVIII	Чередование белых и светло-серых известняков и зеленовато-серых мергелей, до 55 м
			XVII	Известняки белые, мелоподобные, мергели с прослоями кила и стяжениями кремней, 10–15 м
			XVI	Мергели зеленовато-серые, с прослоями светло-серых мергелей, Бельбек, Кача, левобережье Бодрака, 0–20 м

Пачка XVII. Известняки белые, мергели серо-зеленые с прослоями глин (в том числе киловых). В разрезе г. Кизил-Чигир этот тип цикличности представлен переслаиванием мергелистых биокристаллокластических известняков (0,2–3 м) и кристаллобиокластических глин (0,1–0,2 м). Выявлено 7 ритмов типа 1 (переслаивание мергелей и подчиненных глин), которые перекрываются 6 ритмами типа 2 (чередование глинистых известняков и подчиненных глин). Мощность пачки XVII в юго-западной части Горного Крыма составляет 10–15 м (видимая мощность в разрезе г. Кизил-Чигир 14 м). Зоне *Globotruncana arca* (6 м) соответствуют 3 ритма, 10 ритмов характеризуют зону *Globotruncana ventricosa* (8 м). Мощность ритмов варьирует от 0,4 до 3,3 м. В разрезе редки находки макрофоссилий, встречен комплекс ихнофоссилий (*Planolites*, *Zoophycos*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Thalassinoides*).

Геохимические данные об изученном интервале разреза позволили рассчитать значения концентрации (%) 29 элементов и соединений, а также 6 их отношений (модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности для 25 исследованных образцов (рис. 1–3). Описанию этой методики посвящено множество работ [Енгальчев, Панова, 2011; Климат..., 2004; Скляр, 2001]. В некоторых случаях полученные нами данные о показателях в контексте их палеогеографической интерпретации противоречивы, что требует дополнительного изучения, чему будет посвящена следующая статья.

Кратко и выборочно охарактеризуем палеогеографическую значимость концентрации элементов, соединений и их отношения, часть из которых приведена на рис. 1–3.

К показателям изменения глубины бассейна относятся отношение Fe/Mn, титановый модуль (ТМ), натриевый модуль (НМ), а также элементы

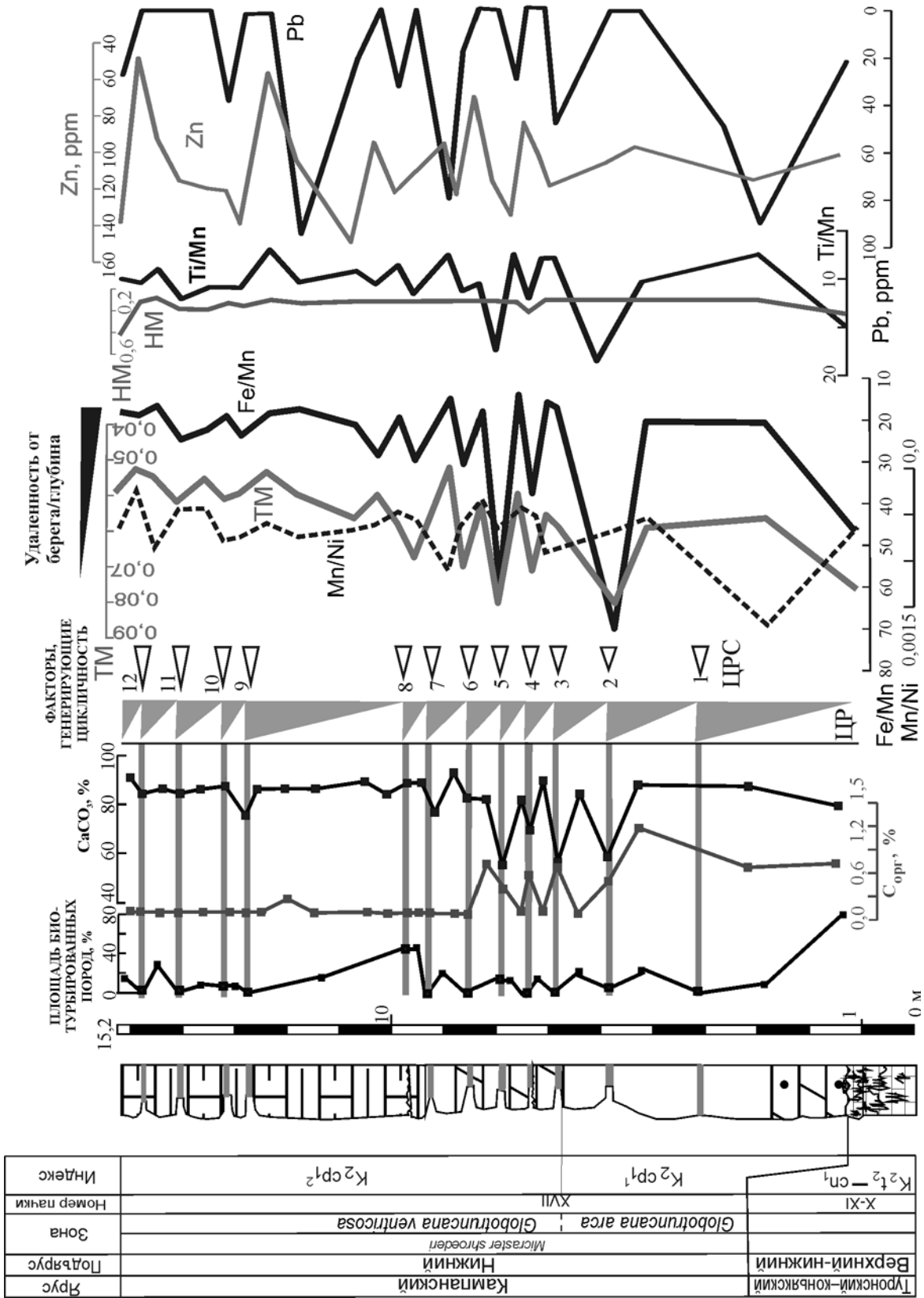


Рис. 1. Геохимическая характеристика вариаций глубины в разрезе горы Кизил-Чигир. Буквенные обозначения см. в тексте

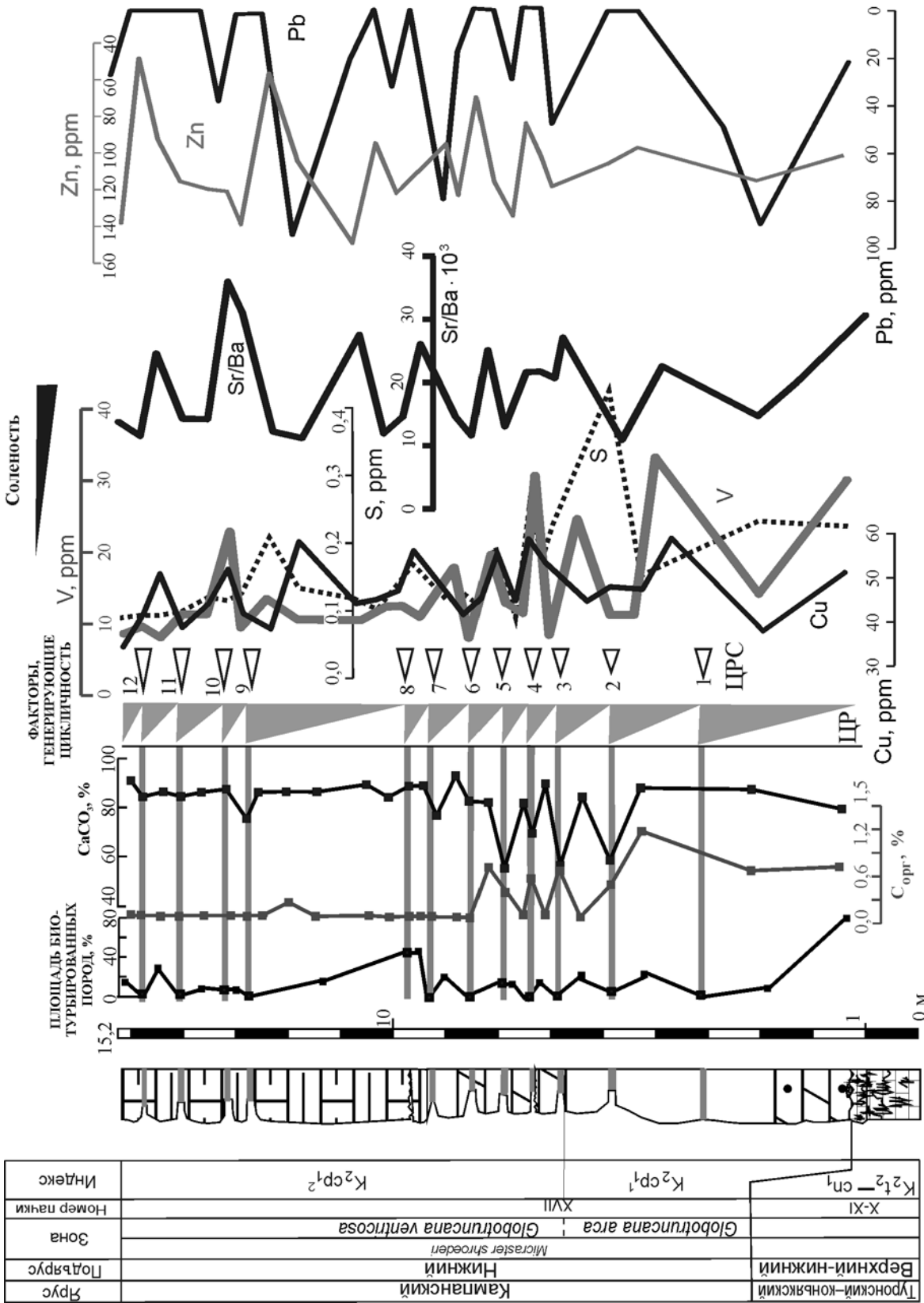


Рис. 2. Геохимическая характеристика вариаций солености в разрезе горы Кизил-Чигир. Буквенные обозначения см. в тексте

Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, показывающие смещение фаций (рис. 1).

Отношение Fe/Mn. Уменьшение этого отношения соответствует увеличению глубины. Тенденция к уменьшению этого отношения с глубиной осадконакопления обусловлена поглощением осадочными отложениями марганца из морских вод, что 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 глиносодержащим отложениям, в меньшей степени к карбонатным [Скляр, 2001].

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-морских условиях. В нормальносоленом морском бассейне содержание Ti понижено из-за отсутствия его истинных растворов [Юдович, Кетрис, 2011].

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-алевритовые породы характеризуются более высокими значениями ТМ, чем аридные. Такое же соотношение наблюдается и для глинистых пород. Использование этого модуля для восстановления особенностей климата 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 [Енгальцев, Панова, 2011].

Натриевый модуль (НМ) представляет собой отношение содержания Na_2O и 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. Содержание алюминия в осадках увеличивается при движении в сторону открытого бассейна. Наиболее бедны натрием прибрежно-морские осадки [Енгальцев, Панова, 2011].

Содержание Sr и Ba. Увеличение содержания стронция свидетельствует об удаленности от источника сноса терригенного материала, 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 солености бассейна.

Для анализа изменения солености (рис. 2) использованы значения отношения Sr/Ba. 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 уменьшается практически до нуля, 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 B, 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.

Для анализа вариации значений палеотемпературы и климата (рис. 3) использованы следующие значения концентрации элементов и их отношения: V, Ca/Sr, 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.

Условия седиментации разреза г. Кизил-Чигир. Обобщив комплекс полученных аналитических данных, опишем палеогеографическую обстановку для исследованного разреза.

Состав палеоценоза: планктон с карбонатным скелетом, редкие бентосные и нектонные формы макрофоссилий встречаются в долине р. Бель-

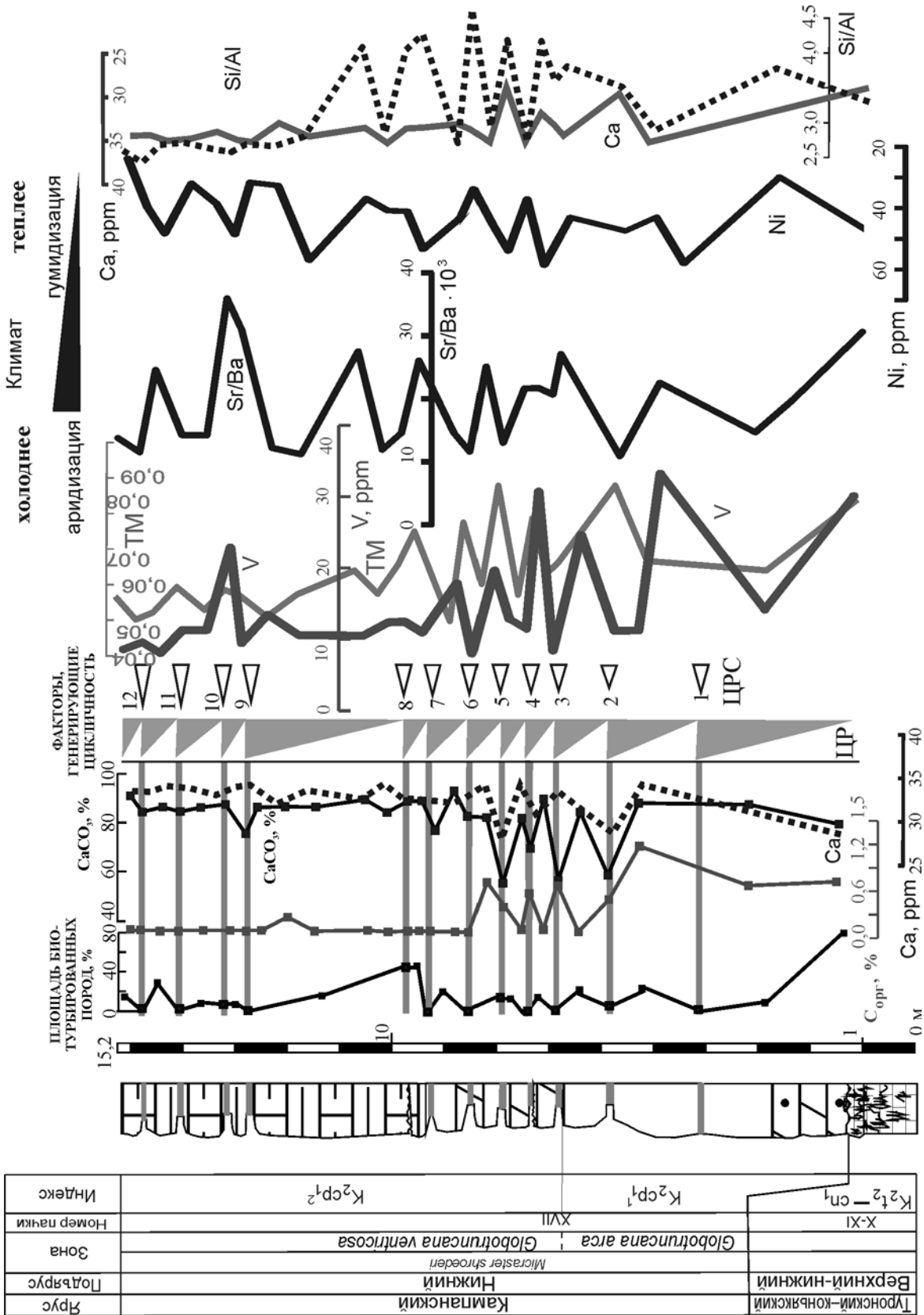


Рис. 3. Геохимическая характеристика вариаций климата в разрезе горы Кизил-Чигир. Буквенные обозначения см. в тексте

бек. Непосредственно в отложениях разреза г. Кизил-Чигир в долине р. Бодрак макрофоссилии не найдены, скорее всего, это свидетельствует об относительной глубоководности бассейна.

Глубина бассейна может быть оценена по ихнофоссилиям, встреченным в разрезе (*Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Zoophycos*, *Chondrites*, *Planolites*). *Thalassinoides* характеризует область дистальной дельты и берегового склона. *Teichichnus* и *Planolites* типичны для устья реки, берегового вала, продельты, дельты, берегового склона. *Zoophycos*, *Chondrites* встречаются в пределах продельты и берегового склона. Таким образом, по ихнофоссилиям область седиментации соответствует уровню берегового склона [Габдуллин, 2002].

По значению отношения Fe/Mn исследуемые породы (рис. 1) находятся в интервале 10–75, что отвечает глубоководной (<40) и мелководной (~80) обстановке седиментации. Наибольшие значения этого отношения обычно коррелируют с подчиненными глинистыми прослоями, а наименьшие — с прослоями разделяющих их карбонатов, сформировавшихся в глубоководной обстановке (значения отношения в интервале 10–30). В распределении этого отношения виден отчетливый тренд к углублению бассейна в течение раннего кампана. В действительности «мелководность» означает резкое увеличение объема приносимого с суши глинистого материала, в большей степени представленного выветрелым вулканическим пеплом (а не циклическое насыщение пеплом тетических вод, тогда бы аккумуляровались вулканогенно-осадочные породы типа туфоаргиллитов, туфоалевролитов и т.д.).

Крайне низкие значения отношения Ti/Mn (5–20) также свидетельствуют о глубоководной обстановке седиментации. Распределение содержания Zn и Pb указывает на соленость и мористость отложений, а также на разбавление относительно более пресными водами во время формирования глинистых прослоев (рис. 1). Распределение TM (рис. 1) и отношения Sr/Ba (рис. 3) в целом указывает, что прослой глины более «мелководные».

Распределение по разрезу НМ, уменьшающееся с ростом глубины или удаленности от береговой линии (рис. 1), четко показывает отсутствие значимых эвстатических вариаций в циклично построенной толще, что однозначно свидетельствует о циклах разбавления.

Следует также отметить полное отсутствие макрофоссилий бентосных и nektonных организмов. Предполагается, что в кампане продолжалась трансгрессия, начавшаяся в позднем сантоне, глубина бассейна составляла 200–300 м [Алексеев, 1989] или даже до 350–450 м [Никишин и др., 2006]. Изученный интервал нижнего кампана в разрезе г. Кизил-Чигир сравнительно небольшой, поэтому в нем затруднительно зафиксировать долгопериодические эвстатические вариации.

Соленость. Вариации солености установлены по всем кривым распределения (рис. 2). Распределение содержания V, Zn, Pb, Cu и отношения Sr/Ba показывает относительное увеличение солености в пластах мергелей и глинистых известняков и ее относительное уменьшение в слоях подчиненных глин. Распределение содержания S сильно отличается от распределения упомянутых выше элементов, четкая связь вариации ее концентрации с пластовой циклическостью не установлена.

Климат. Характер распределения TM, Ca, Ni и V (рис. 3) показывает, что формирование глинистых прослоев протекало в условиях более влажного климата, вызывавшего увеличение терригенного сноса. Кривые содержания Ni и V (рост концентрации этих элементов отвечает гумидизации климата), а также Ca (повышение концентрации отвечает аридизации климата) указывают на то, что в течение раннего кампана наблюдалась слабая тенденция к общей гумидизации. При этом схожий тренд отношений Sr/Ba и Si/Al, увеличивающихся при потеплении и гумидизации климата, показывает, что возрастание объема сноса отвечает эпохам относительного похолодания в общих условиях холодного климата. Определение температуры по рострам белемнитов показало [Тейс, Найдин, 1973], что температура составляла приблизительно 14 °С.

Газовый режим. Находки ихнофоссилий *Zoophycos*, *Chondrites* и полное отсутствие макрофоссилий бентосных и nektonных организмов свидетельствуют о возможном дефиците растворенного кислорода. Циклическое распределение ихнофоссилий является следствием циклических флуктуаций содержания кислорода, что подтверждается хорошей корреляцией распределения по разрезу содержания S и площади биотурбированных пород (рис. 2). Максимумы концентрации S отвечают минимумам биотурбации.

Тип субстрата. Сообщество ихнофоссилий обитает на рыхлых, мягких грунтах.

Формирование циклическости. Присутствие в разрезе в качестве одного элемента пластового цикла из глинистых прослоев вулканогенной природы (киловых глин) свидетельствует о разбавлении (ЦР) и растворении (ЦРС) накапливающегося биогенного (планктоногенного) фораминиферово-водорослевого ила (пласты мергелей) монтмориллонитовым глинистым материалом вулканического происхождения за счет смыва с суши.

Выводы. 1. Впервые комплексно литологическими и геохимическими методами исследованы условия формирования циклично построенной толщи переслаивания глин и мергелей, известняков в нижнекампанском интервале кудринской свиты. Предложены модели вариаций температуры, солености и глубины в Горнокрымской части океана Тетис для раннекампанского времени.

2. Формирование циклично построенной толщи переслаивания мергелей и известняков и подчиненных глин объясняется циклами разбавления (ЦР) и растворения (ЦРС) накапливающегося биогенного (планктоногенного) фораминиферо-водородослевого ила (пласты мергелей) монтмориллонитовым глинистым материалом вулканического происхождения, что подтверждает ранее высказанные предположения об их генезисе [Габдуллин, 2002].

3. Относительно большая глубина бассейна в диапазоне 200–450 м подтверждается значениями отношений Fe/Mn и Ti/Mn. Значения натриевого модуля (НМ) показывают отсутствие значимых эвстатических вариаций в циклично построенной толще, что однозначно свидетельствует о циклах разбавления и растворения карбонатного ила в глубоководных условиях.

4. Распределение содержания V, Zn, Pb, Cu и отношения Sr/Ba показывает относительное увеличение солености в пластах мергелей и глинистых известняков и относительное уменьшение в слоях подчиненных глин, что вызвано циклическим разбавлением карбонатного ила глинистым компонентом, сносимым с суши.

5. Распределение содержания S сильно отличается от упомянутых выше, четкая связь изменения ее концентрации с пластовой циклическостью не установлена. Вместе с тем циклическое распределение ихнофоссилий является следствием циклических флуктуаций содержания кислорода, что подтверждается хорошей корреляцией распределения по разрезу содержания S и площади биотурбированных пород. Максимумы концентрации S отвечают минимумам биотурбации в глинистых прослоях. Таким образом, предполагается существование неблагоприятных для бентосных существ условий (небольшое снижение концентрации растворенного в воде кислорода) в момент поступления в седиментационную систему выветрелого вулканического пепла.

6. Характер распределения концентрации элементов и их отношений в изученном разрезе показывает, что формирование глинистых прослоев протекало в условиях более влажного и холодного климата, что усиливало объем сноса с суши глинистого материала. На протяжении раннего кампана наблюдалась слабая тенденция к общей гумидизации климата. Относительное похолодание можно объяснить насыщением атмосферы вулканическим пеплом при сильных извержениях.

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.

Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, 2007. 172 с.

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.

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.

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

Попов С.П. О кефекиллите // Зап. ВМО. 1943. Ч. LXXII, № 1. С. 44–49.

Скляр 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.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.

Поступила в редакцию
15.10.2014