

УДК 552.143+551.762.2(477.75.+470.6)

Р.Р. Габдуллин<sup>1</sup>, Е.Н. Самарин<sup>2</sup>, А.В. Иванов<sup>3</sup>, Н.В. Бадулина<sup>4</sup>, М.А. Афонин<sup>5</sup>

## ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В КРЫМСКО-КАВКАЗСКОМ ТРОГЕ В РАННЕЮРСКО-ААЛЕНСКОЕ ВРЕМЯ (на примере Качинского поднятия и Краснополянской зоны)<sup>6</sup>

Впервые литологическими и геохимическими методами проведено сравнение условий седиментации в крымской и кавказской частях Крымско-Кавказского трога в раннеюрско-ааленское время. Предложены модели вариаций температуры, солености и глубины в троге для раннеюрско-ааленского времени.

*Ключевые слова:* юрский период, турбидиты, геохимия, палеогеография, глубина, соленость, температура, Крым, Кавказ.

The comparison of paleogeographic conditions in Early Jurassic and Aalenian of Crimean and Caucasian parts within the Crimean-Caucasian trough by lithological and geochemical methods was provided for the first time. Models explaining variations of temperature, salinity and bathymetry were proposed for the Early Jurassic and Aalenian time.

*Key words:* Jurassic, turbidites, geochemistry, paleogeography, bathymetry, salinity, temperature, Crimea, Caucasus.

**Введение.** Терригенные флишевые ниже-среднеюрские отложения Крымско-Кавказского трога сложно дислоцированы и визуально сложены однообразными циклически построенными породами, которые почти не содержат макрофауны и не всегда характеризуются микрофауной или микрофлорой, что сильно затрудняет их расчленение и сопоставление, поэтому их исследование представляется крайне актуальным. В процессе активного строительства объектов Олимпиады-2014 в долине р. Мзымта появилось множество временных обнажений, и изыскатели начали сталкиваться с характерными проблемами при расчленении и сопоставлении разрезов обнажений и скважин. Кроме того, наличие оползневых тел, иногда перекрывающихся, дополнительно усложняло работу по определению возраста толщ и их корреляции. При большом числе разрезов требовался экспресс-метод определения возраста, например микропалеонтологический. Однако некоторые датировки, полученные по нанопланктону, противоречили общепризнанным датировкам свит, возраст которых остается дискуссионным [Панов, 2003].

В качестве примера можно привести существовавшее до установки дорожных звукоизоляционных панелей и реконструкции дорожного полотна обнажение у въездного знака «Эстосадок» на правом берегу Мзымты (точка 457 в работе [Габдуллин, Иванов, 2013]) (рис. 1). Здесь в скальном утесе у старой автомобильной дороги Адлер—Альпика—Сервис были видны коренные выходы толщи песчаников. Определимые конодонты не выделены (А.С. Алексеев, МГУ). На геологических картах разных лет изданий этот участок относят то к триасу, то к нижней юре, хотя напротив этой точки на другом берегу р. Мзымта (точка 458) Е.А. Щербиной (ГИН РАН) из битуминозных аргиллитов был определен комплекс нанопланктона синемюр-плинсбахского возраста — *Mitrolithus elegans* и *Srepidolithus granulates* [Габдуллин, Иванов, 2013]. Кроме того, в разрезах Северо-Западного Кавказа в позднем аалене фиксируется массовое вымирание моллюсков и фораминифер, что связано с палеогеографическими перестройками и возникновением в раннем аалене областей морских вод с дефицитом растворенного кислорода [Ruban, Tyszka, 2005; Ruban, 2012] в условиях регрессии (рис. 2).

<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, 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, студент; *e-mail:* mihail282@gmail.com

<sup>6</sup> Работа поддержана Министерством образования и науки (гранты СГТУ-141 и СГТУ-14); 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 (проекты 14-05-31171, 14-05-31538 мол\_a).

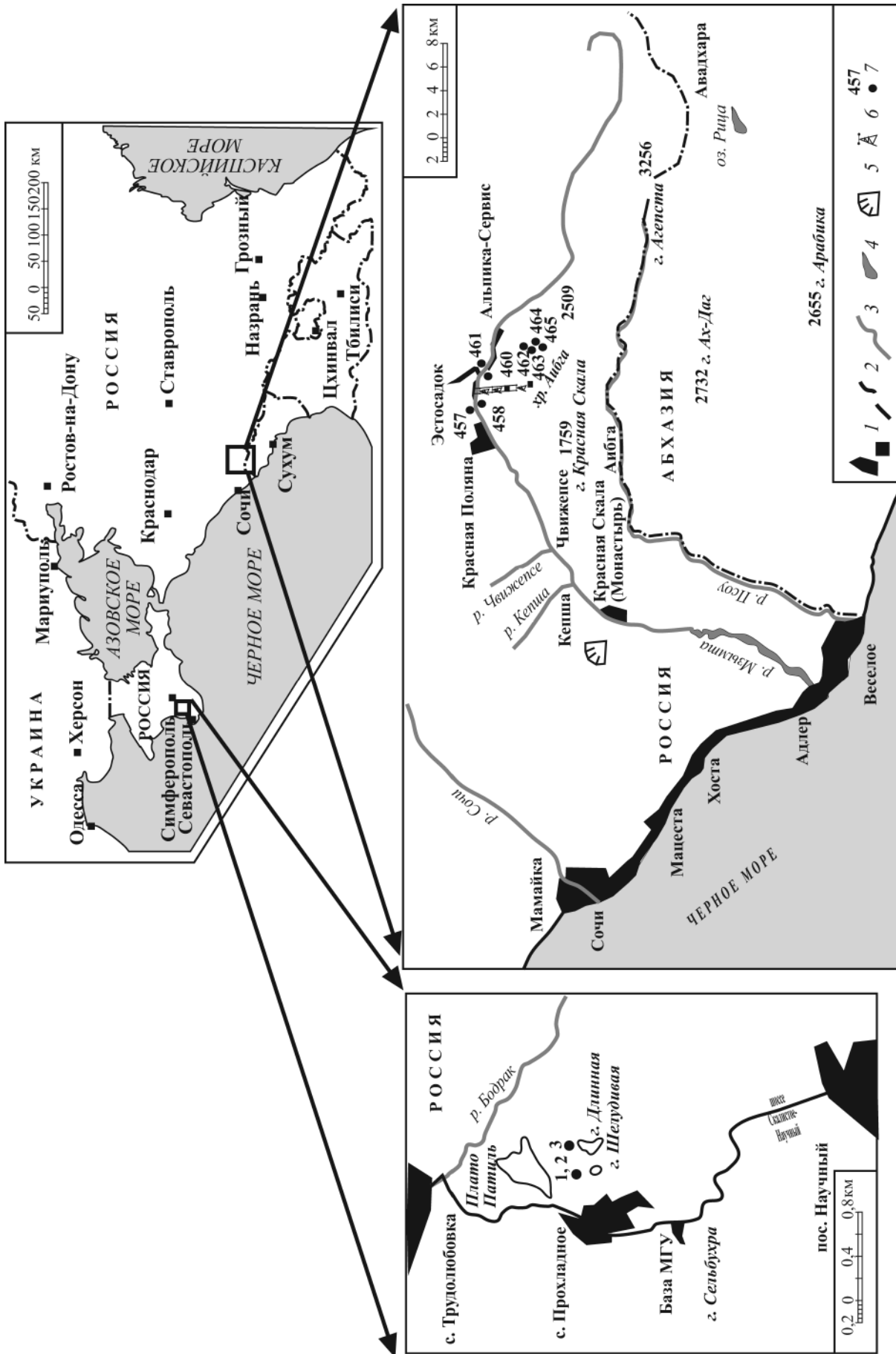


Рис. 1. Схематическая карта расположения изученных точек: 1 — границы населенных пунктов, 2 — государственные границы, 3 — реки, 4 — озера, 5 — карьер, 6 — линия подвесной канатной дороги «Горная Карусель», 7 — точки наблюдения и их номера

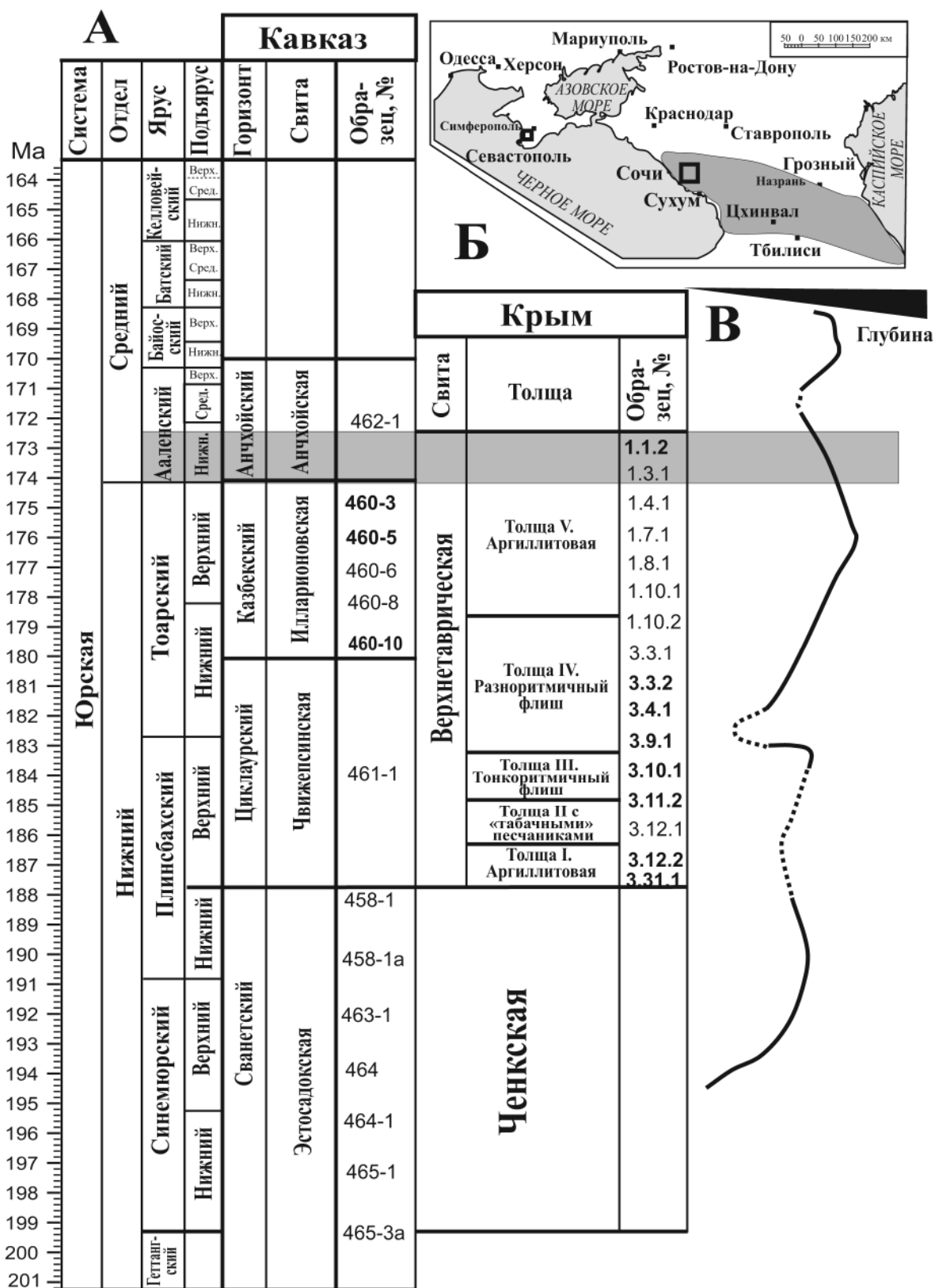


Рис. 2. Геологическая история Крымско-Кавказского региона: А — схема хроностратиграфической корреляции свит внутри крымской и кавказской частей трога и положение отобранных образцов; полужирный — образцы песчаников, остальное — аргиллиты; серое — время распространения вод с дефицитом кислорода в раннем аалене, по [Ruban, 2012]; Б — схематическая карта расположения районов исследований; серое — область распространения вод с дефицитом кислорода в раннем аалене, по [Ruban, 2012] (условные обозначения см. на рис. 1); В — региональная палеобатиметрическая кривая для Северо-Западного Кавказа, по [Ruban, Tyszka, 2005]

Именно поэтому коллектив авторов впервые принял попытку геохимического изучения этих отложений Крыма и Кавказа, так как этим методом можно сравнительно быстро получить результаты и, кроме того, помимо геохимической корреляции, уточнить палеогеографические условия седиментации.

Представленные в статье результаты будут, на наш взгляд, представлять практический и научно-образовательный интерес для геологических практик студентов МГУ имени М.В. Ломоносова, а также в свете будущего активного строительства и государственной геологической съемки в Крыму (ГДП-200).

**Методика работ.** На Кавказе (рис. 1) исследования проводили в районе Краснополянской зоны в долине р. Мзымта около железнодорожных станций Эстосадок и Красная Поляна. Точка 458 расположена восточнее станции хаба «Эстосадок», у северного портала 4-го туннеля. В районе подъемника нижней базы «Роза Хутор» исследованы разрезы на левом (точка 460) и правом (точка 461) берегах р. Мзымта. На автомобильной дороге, ведущей к сноуборд-парку, находятся точки 462–464. Точка 465 расположена в подрезке дороги над 6-м туннелем у ручья. В Крыму (рис. 1) изучали разрезы в ближайших окрестностях учебно-научной базы МГУ имени М.В. Ломоносова в с. Прохладное (Бахчисарайский район), локализованные в пределах Качинского поднятия. Точки 1 и 2 расположены в Мангушском овраге, в районе его слияния с оврагом Яман, а точка 3 — на водоразделе между горами Шелудивая и Длинная.

В статье рассмотрены терригенные флишевые отложения глубоководного Крымско-Кавказского трога. Из-за большой мощности свит и их дислоцированности авторы не описывали разрезы, а осуществляли привязку образцов к местным стратиграфическим подразделениям. Описаны фрагменты (интервалы) разрезов мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров. В качестве метода анализа циклично построенных флишевых толщ использован метод построения ритмограмм, облегчающий стратиграфическое позиционирование изучаемого фрагмента внутри разреза свиты. Макроскопическое описание пород дополнено их микроскопическим (исследовано 65 шлифов, в статье не рассматриваются) и геохимическим анализом.

Выполнен полный геохимический анализ элементов для 30 образцов обломочных терригенных горных пород на рентгено-флюоресцентном спектро-скане MARC.GV (НПО «Спектрон», Санкт-Петербург) на кафедре инженерной геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (аналитик Е.Н. Самарин). Проанализировано 14 образцов, собранных из 7 разрезов ниже- и среднеюрских отложений Краснополянской зоны Большого Кавказа, а также 16 образцов, отобранных из 3 разрезов верхне-таврической серии Качинского поднятия (Горный Крым).

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 нижнеюрско-ааленских отложений Крымско-Кавказского трога.** Отложения представлены терригенными, преимущественно песчано-глинистыми флишевыми толщами циклического строения. Их литолого-палеонтологическая характеристика, стратиграфическое и тектоническое положение и история изучения изложены в ряде работ [Афанасенков и др., 2007; Барабошкин, Дегтярев, 1988; Геология СССР, 1968, 1969; Густомесов, 1967; Королев, 1983; Логвиненко и др., 1961; Милеев и др., 1989; Муратов, 1959; Никишин и др., 1997, 2006; Панов, 1997, 2006, 2009; Панов и др., 2001; Панов, Пруцкий, 1983; Славин, 1958; Цейслер и др., 1999]. Схема корреляции стратиграфических шкал Крыма и Большого Кавказа для указанного интервала и положение отобранных образцов из изученных разрезов приведены на рис. 2.

**Характеристика нижнеюрско-ааленских отложений Краснополянской зоны** Западного Кавказа. В этом стратиграфическом интервале разреза выделяются анчхойская, илларионовская, чвежипсинская и эстосадокская свиты краснополянской серии (рис. 2).

**Эстосадокская свита** ( $J_{1es}, J_{1s-p_1}$ ) имеет сходный возраст со сванетским горизонтом Южного склона Большого Кавказа, она описана в долине р. Мзымта у с. Эстосадок и сложена полосчатыми аргиллитами с пластами песчаников, гравелитов и линзами известняков, с базальным конгломератом в основании. Возраст свиты — синемюрско-раннеплинсбахский — определяется ее стратиграфическим положением и находкой аммонита *Arietites (Coroniceras) cf. bucklandi* Sow. [Панов, Пруцкий, 1983]. Мощность свиты ~650 м.

Восточнее станции хаба «Эстосадок», у северного портала 4-го туннеля (точка 458), наблюдаются коренные выходы толщи тонколистоватых черных малопрочных аргиллитов. Толща разлинзована и деформирована. Микроскопически (шлиф № 458/1) порода представляет собой аргиллит тонкодисперсный, полимиктовый, преимущественно гидрослюдистый с примесью (15–20%) неокатанного и полукатанного мелко-тонкозернистого кварца и биотита, горизонтально-слоистый за счет микролинз органического вещества (30%), сидеритизированный (5%). Доля глинистого вещества составляет 50–45%. Среди вторичных изменений отмечены оксиды железа и пирит.

Южнее, у комплекса трамплинов К-95 и К-125 на левом берегу р. Мзымта, напротив железнодорожной станции и пересадочного хаба «Эстосадок» в ряде естественных обнажений наблюдаются выходы эстосадокской свиты — пачки неравномерного ритмичного переслаивания тонкозернистых слюдистых (мусковит) кварцевых красновато-бурых на свежем и бурых на выветрелом сколе песчаников (30–50 см) и

аргиллитов (мощность слоев до 30–50 см, иногда несколько сантиметров), черных на свежем сколе и бурых на выветрелом, разлинзованных. Встречаются единичные прослои бурого алевролита. Азимут падения (АЗ ПД) 190°, угол падения (УП) 20° (залегание запрокинутое, по иероглифам).

На крутом повороте автомобильной дороги ниже сноуборд-парка, на правом борту безымянного селезного ручья в точке 463 ( $J_{1s-p_1}$ , эстосадокская свита) обнажаются аргиллиты графитового цвета (серо-черные), битуминозные, малопрочные и тонкослоистые в нарушенном залегании (оползень).

На крутом повороте автомобильной дороги ниже сноуборд-парка, на левом борту безымянного селезного ручья (точка 464,  $J_{1s-p_1}$ , эстосадокская свита) наблюдаются коренные выходы битуминозных серо-черных аргиллитов, тонкочешуйчатых, очень малопрочных, рассыпающихся в руках и осыпаящихся от вибрации при движении автотранспорта по дороге, смятых в небольшую антиформную складку (оползень в нарушенном залегании, АЗ ПД 260°, УП 26°).

В подрезке дороги над 6-м туннелем у безымянного ручья (точка 465,  $J_{1s-p_1}$ , эстосадокская свита) находятся коренные выходы битуминозных аргиллитов, черных, тонкочешуйчатых и малопрочных (АЗ ПД 170°, УП 27°). Видимая мощность >10 м.

**Чвежипсинская свита** ( $J_{1cv}$ ,  $J_{1p_2}-J_{1t_1}$ ) выделяется в циклаурском горизонте на Южном склоне Большого Кавказа, представлена нерассланцованными, скорлуповатыми аргиллитами, алевролитами слюдыстыми, с линзами мергелей и известняков, с обилием обугленного растительного детрита.

Возраст свиты определяется ее стратиграфическим положением и находками аммонита *Amaltheus margaritatus* Montf. и белемнитов *Rhabdobelus exilis* Orb., *Coeloteuthis* sp. [Панов, Пруцкий, 1983]. Мощность свиты ~700 м.

Южнее северного портала 4-го туннеля, в районе комплекса трамплинов К-95 и К-125, наблюдаются коренные выходы чвежипсинской свиты, представленные аргиллитами нерассланцованными, часто слюдыстыми, темно-серыми или черными; как правило, они содержат большое количество обугленного растительного детрита, имеют пониженную прочность. Характерная особенность аргиллитов — пятнистость, обусловленная наличием субпараллельных черных выделений неправильно-линзовидной формы. Элементы залегания АЗ ПД 240°, УП 30–40°.

**Илларионовская свита** ( $J_{1il}$ ,  $J_{1t_2}$ ) представляет собой толщу чередования пакетов песчано-глинистых и алевроглинистых пород. Возраст свиты определяется по стратиграфическому положению [Панов, Пруцкий, 1983]. Мощность около 1600 м.

У подъемника нижней базы «Роза Хутор» на левом берегу р. Мзымта (точка 460) наблюдаются делювиально-пролювиальный конус и коренные выходы юрских пород. Толща разлинзована, деформирована. Элементы залегания АЗ ПД 200°, УП 65°, залегание

запрокинутое (по иероглифам). Разрез илларионовской свиты ( $J_{1t_2}$ ) сверху вниз:

слой 1: рыже-бурые песчаники тонкозернистые, алевриты прочные, мощность >3 м;

слой 2: серо-зеленые песчаники мелкозернистые, мощность 2–2,5 м;

слой 3: зелено-серые песчаники железистые (на выветрелом сколе бурые), мелкозернистые, мощность 2,5 м;

слой 4: черные аргиллиты тонколистоватые, битуминозные, ожелезненные на выветрелом сколе, малопрочные, с прослоями алевритов серо-зеленых, черных малопрочных, мощность 6 м;

слой 5: тонколистоватые серо-зеленые песчаники, мелкозернистые, малопрочные, с органическим веществом, мощность 2,5 м;

слой 6: черные аргиллиты, разлинзованные, деформированные, малопрочные, мощность 0,6 м;

слой 7: переслаивание черных аргиллитов, разлинзованных, деформированных, малопрочных и серо-бурых песчаников, тонкозернистых, листоватых, малопрочных, мощность 4,5–5 м.

Затем следует необнаженный интервал разреза, переход на 30 м вверх по течению реки:

слой 8: черные аргиллиты разлинзованные, деформированные, средней прочности, с жилами кальцита (секущими и по слоистости), мощность неизвестна. Далее следует разлом;

слой 9: аналогичен слою 8, мощность неизвестна. Затем разлом и, видимо, граница с другой толщей;

слой 10: серые песчаники тонкозернистые, мощность неизвестна.

У подъемника нижней базы «Роза Хутор» на правом берегу р. Мзымта (точка 461) обнажены черные разлинзованные аргиллиты, аналогичные таковым в точке 460, АЗ ПД 355°, УП 25°.

**Анчхойская свита** ( $J_{2an}$ ,  $J_{2a}$ ), сложенная рассланцованными аргиллитами с редкими и маломощными прослоями пирокластических пород, выделена в районе перевала Анчхо в Горной Абхазии и прослеживается до бассейна р. Сочи. Возраст свиты определен как ааленский на основании находок *Leioceras bifidatum* Busck. и *Ludwigia* sp. У перевала Анчхо ее мощность составляет 500–700 м, а в бассейне р. Чвежипсе — 1000 м [Панов, Пруцкий, 1983].

На повороте дороги в точке 462 наблюдались черные малопрочные битуминозные аргиллиты анчхойской свиты (АЗ ПД 120°, УП 55°).

**Характеристика верхнеплинсбахско-ааленских отложений Качинского поднятия.** Понятие «таврическая серия» охватывает мощный комплекс терригенных флишевых и флишоидных отложений поздне триасового и раннеюрского возраста, включающих локально развитые вулканогенные образования, горизонты известняковых глыб, пачки гравелитов и конгломератов.

Таврическая серия на территории Качинского поднятия объединяет следующие свиты (рис. 1, 2): нижнетаврическую ( $T_3tv_1$ ,  $T_3k-n$ ), ченкскую ( $J_1cn$ ,

$J_{1s-p}$ ) и верхнетаврическую ( $J_{1-2}tv_2$ ,  $J_{1p_2}-J_{2a}$ ), разделяемую на пять толщ. Исследованы все 5 толщ верхнетаврической свиты, имеющих между собой согласные стратиграфические границы. Первые 3 толщи позднеплинсбахские, 4-я позднеплинсбахская—нижнетоарская, а 5-я позднетоарско-ааленская. Возраст нижних 3 толщ (I, II, III) верхнетаврической свиты определяется их стратиграфическим положением.

**Толща I — аргиллитовая** ( $J_{1-2}tv_2^I$ ) — сложена однообразными черными оскольчатыми аргиллитами с многочисленными крупными конкрециями сидерита. Среди аргиллитов изредка прослеживаются прослой более плотных алевролитов. В разных местах в аргиллитовой толще присутствуют пачки аргиллит-алевролитового, а иногда нормального (тонкозернистый песчаник—алевролит—аргиллит) тонкоритмичного флиша, но с резким преобладанием аргиллитов. Толща согласно налегает на отложения ченкской свиты. Мощность толщи достигает 500 м.

В составе глинистых минералов присутствуют (%) гидрослюда (44–53), смешанослойные минералы (8–18) при полном отсутствии хлорита, но обязательно присутствует каолинит (до 29).

**Толща II с «табачными» песчаниками** ( $J_{1-2}tv_2^{II}$ ) — однообразна на всей территории исследований и представляет собой песчаный флиш. Наиболее характерны для толщи крупные (мощность до нескольких метров) ритмы с мощным (до 1,5–2,0 м) первым элементом, представленным зеленовато-серыми «табачными» песчаниками. В основании этих пластов песчаников отмечены крупные флишевые иероглифы, главным образом слепки борозд размыва. Часто встречаются мелкие обломки раковин неопределимых пелеципод и фрагменты скелетов криноидей.

Мощность толщи II довольно постоянна и составляет 220–300 м.

**Толща III — тонкоритмичный флиш** ( $J_{1-2}tv_2^{III}$ ) — образована ритмами толщиной преимущественно 7–25 см, в которых первый элемент ритма обычно представлен только плотными тонкослоистыми алевролитами, а второй — аргиллитами, иногда с конкрециями сидерита, толщина ритмов 5–20 см. На нижней поверхности первого элемента ритма иногда отмечаются флишевые иероглифы, чаще всего мелкие биоиглифы.

Мощность толщи III оценивается не менее чем в 300 м.

**Толща IV — разноритмичный флиш** ( $J_{1-2}tv_2^{IV}$ ) — нормальный трехкомпонентный (песчаник—алевролит—аргиллит) флиш с изменчивой мощностью ритмов. В овр. Яман между горами Шелудивая и Длинная толща образована ритмами мощностью от 10–12 до 30–40 см с некоторым преобладанием последних.

Возраст толщи IV подтвержден находками моллюсков — плинсбахских аммонитов *Aegoceras sp.* и *Liparoceras sp.*, плинсбахских белемнитов *Nannobelus pavloviensis Men. et Erl.* (возможно), раннетоарских

аммонитов *Dactylioceras sp.* и белемнитов *Dactyloteuthis cf. attenuata Ernst*, поэтому толща отнесена к верхам верхнего плинсбаха—нижнему тоару. Мощность толщи IV ~750 м.

**Толща V — аргиллитовый субфлиш** ( $J_{1-2}tv_2^V$ ) — представлена чередованием пачек аргиллитов (4–10 м) и флишевых пачек (3,5–11,5 м). Пачки аргиллитов однородны и содержат только прослой конкреций сидерита (или единичные конкреции). Основную часть ритмов во флишевых пачках составляют аргиллиты, мощность которых может достигать 40–50 см.

Во флишевых пачках в основании ритмов часто присутствуют бурые железненные известковистые гравелиты со следами выщелоченного раковинного детрита. В аргиллитах из верхних частей ритмов отмечены прослой конкреционного известняка. В аргиллитовых пачках и уникально мощных (до 2 м) ритмах во флишевых пачках достаточно часто встречаются *паститы* — линзовидные тела несортированных глинистых алевролитов, переполненных мелкими обломками аргиллитов, песчаников и конкреций.

Возраст толщи — поздний тоар—ранний аален по позднетоарским белемнитам *Mesoteuthis quenstedti* Opp.

Видимая мощность толщи V в ядре Прохладненской синклинали оценивается в 250 м.

Образцы взяты из всех пяти толщ верхнетаврической свиты. Из толщи I для геохимических исследований отобраны 2 образца песчаников, из толщи II — образец аргиллита, из толщи III — 2 образца песчаников, из толщи IV — 3 образца песчаников и образец аргиллита, из толщи V — 7 образцов аргиллитов и образец песчаников.

**Геохимические данные о нижне-среднеюрском интервале разреза** позволили рассчитать значения концентрации (%) для 29 элементов и соединений, а также 6 их отношений (модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности (рис. 3–8). Для этих исследований отобрано 16 образцов из разрезов Горного Крыма и 14 образцов из разрезов Большого Кавказа. Описанию этой методики посвящено множество работ [Енгальчев, Панова, 2011; Климат..., 2004; Складаров, 2001]. Иногда полученные нами данные о некоторых показателях в контексте их палеогеографической интерпретации противоречивы, что требует дополнительного изучения, этому будет посвящена следующая статья.

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

**К показателям изменения глубины бассейна** относятся отношение Fe/Mn, ТМ, а также элементы Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, показывающие смещение фаций (рис. 3–5).

**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

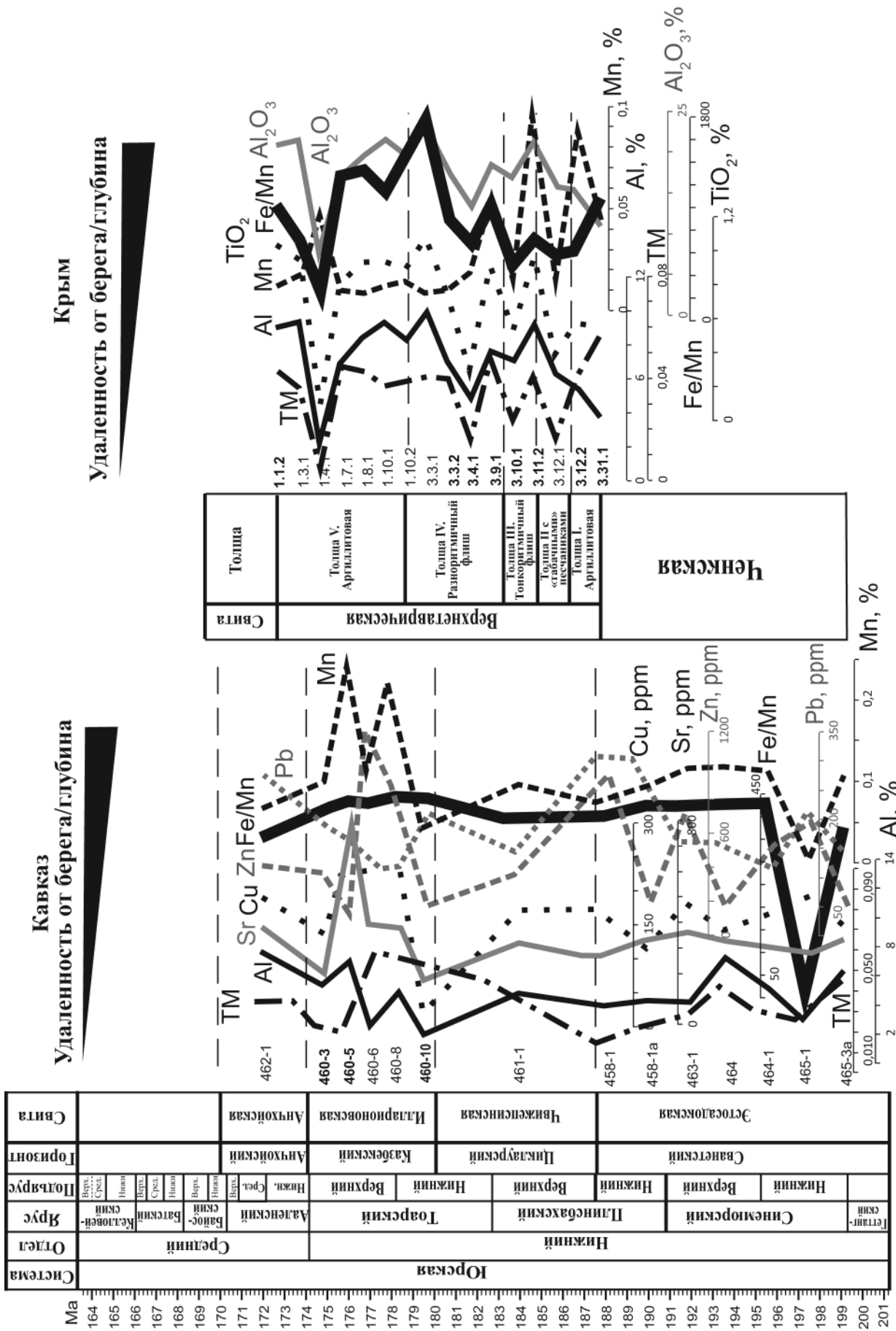


Рис. 3. Геохимическая характеристика вариаций глубины в Крымско-Кавказском тропе

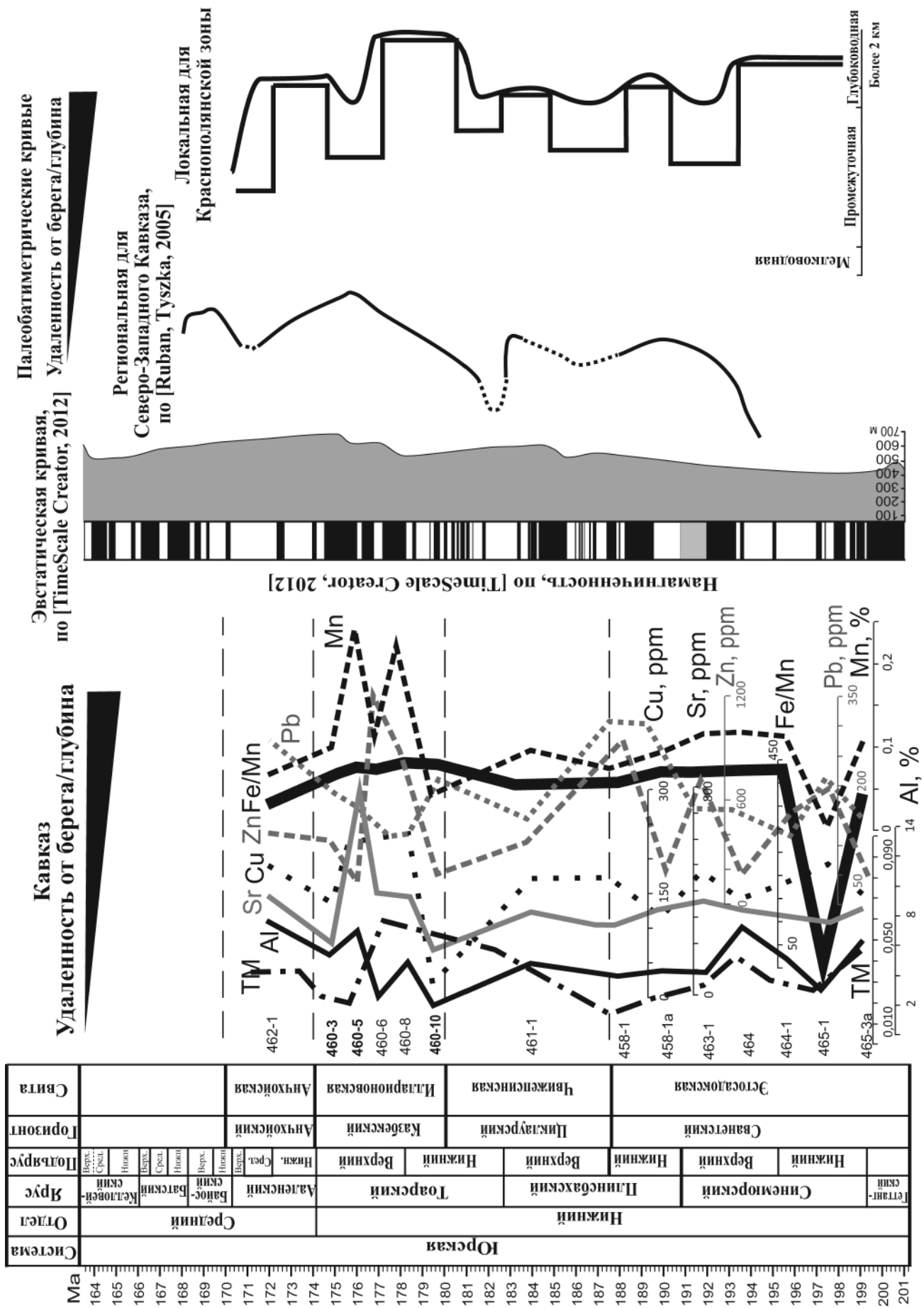


Рис. 4. Геохимическая характеристика вариаций глубины в кавказской части трога



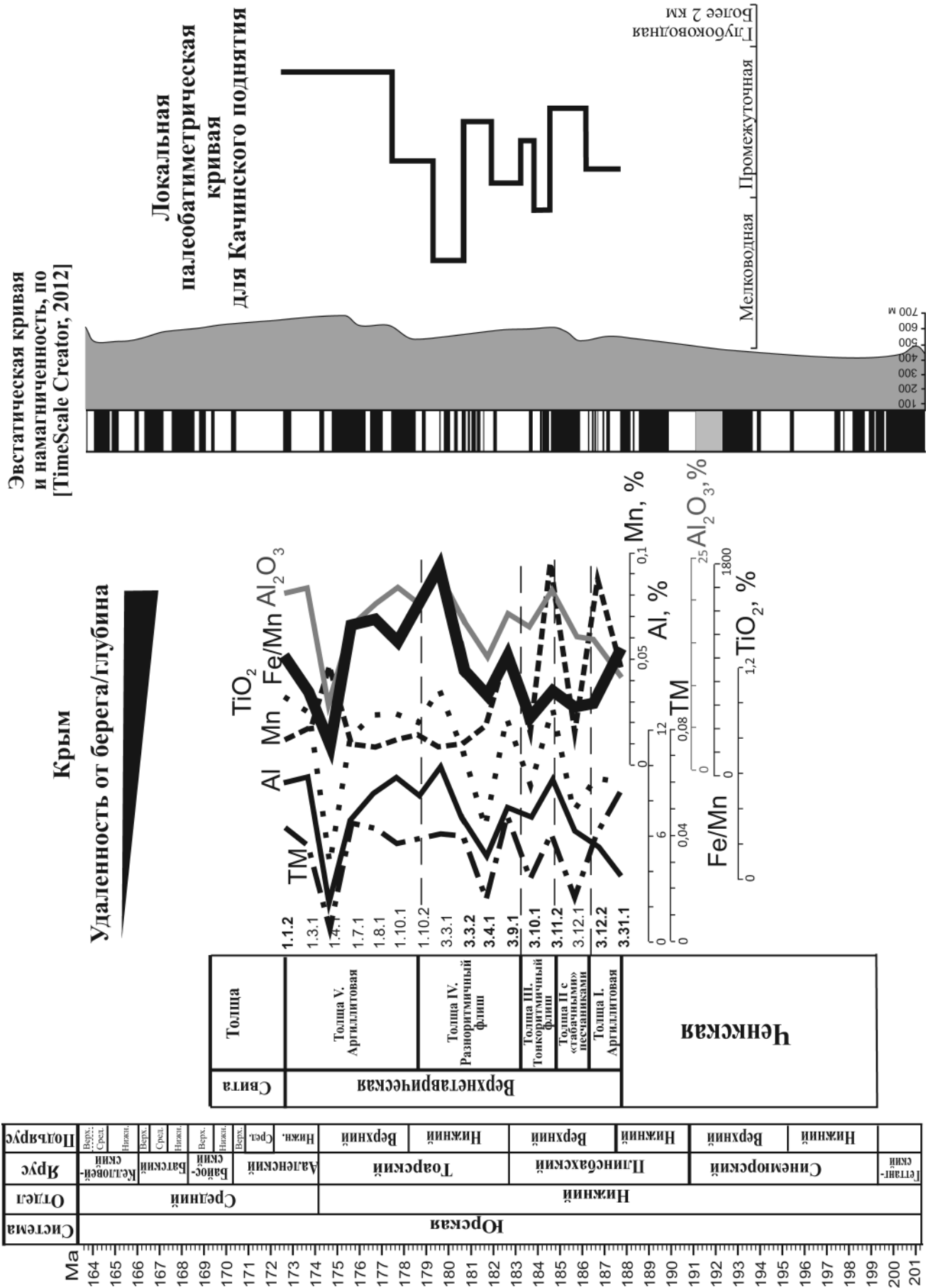


Рис. 5. Геохимическая характеристика вариаций глубины в крымской части трога

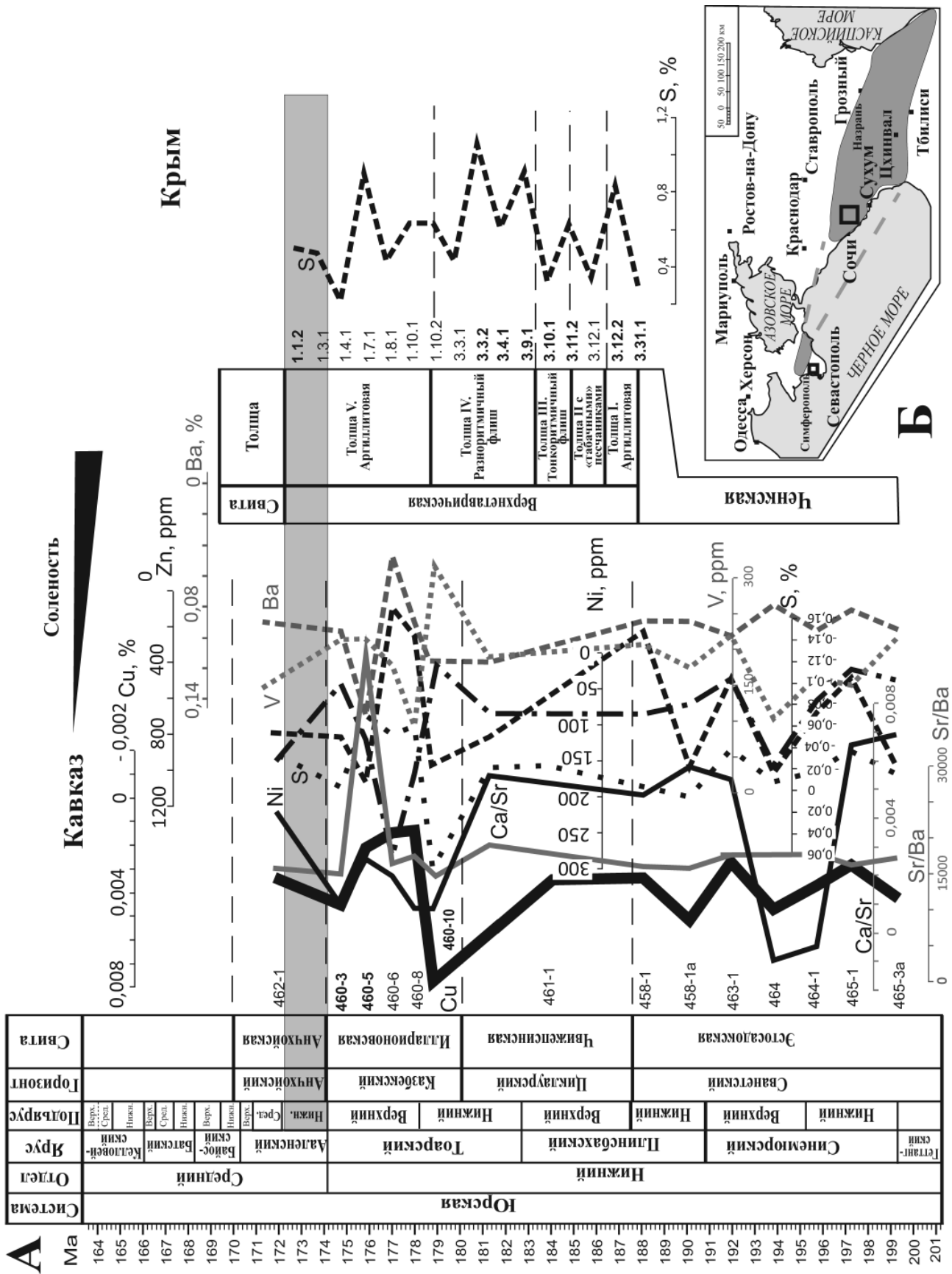


Рис. 6. Геохимическая характеристика вариаций солёности в Крымско-Кавказском тропе (А) и карта возможного распространения вод с дефицитом кислорода в раннем эолене (Б), по [Ruban, 2012] с дополнениями

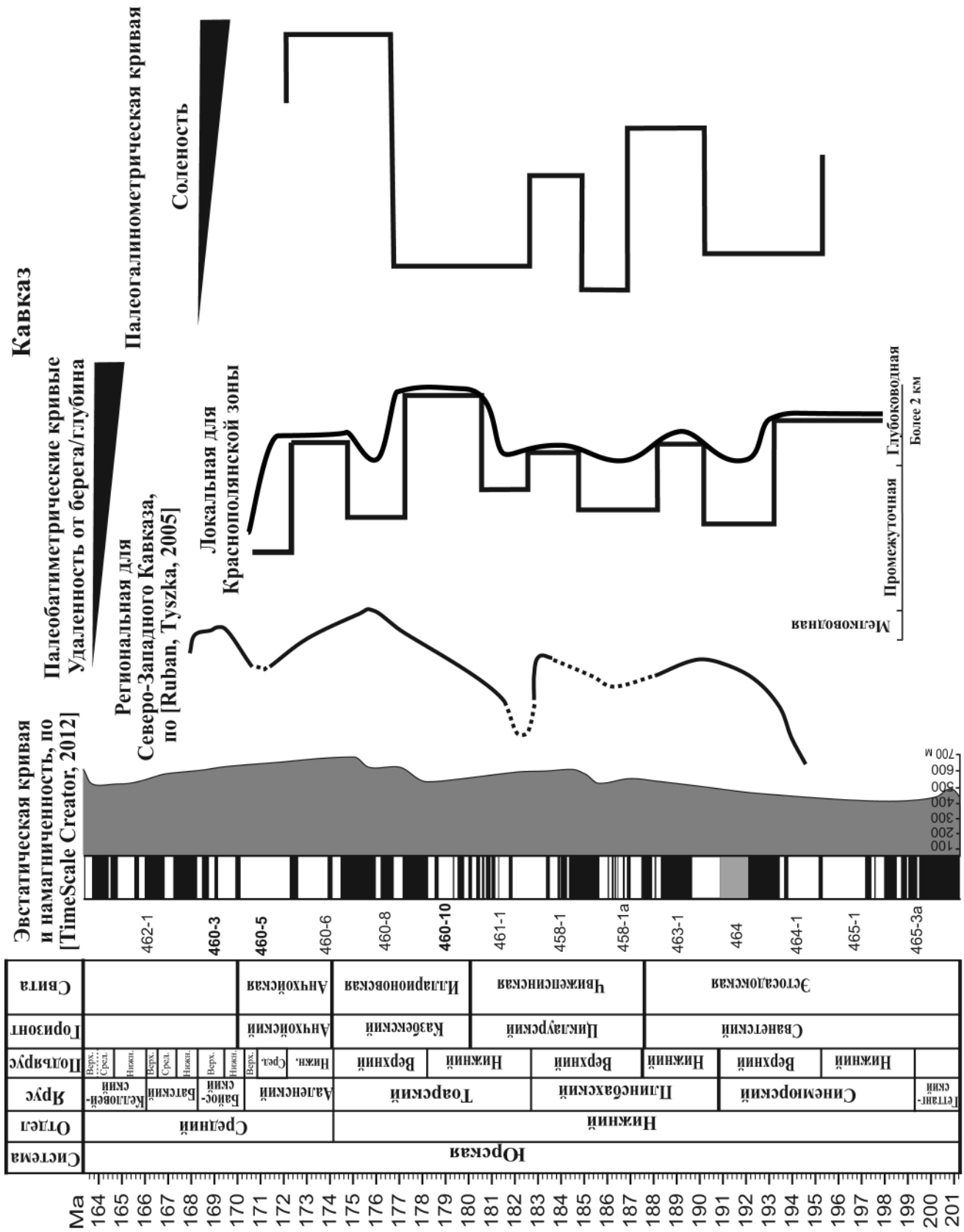


Рис. 7. Корреляция вариаций глубины и солености в кавказской части трога по геохимическим данным

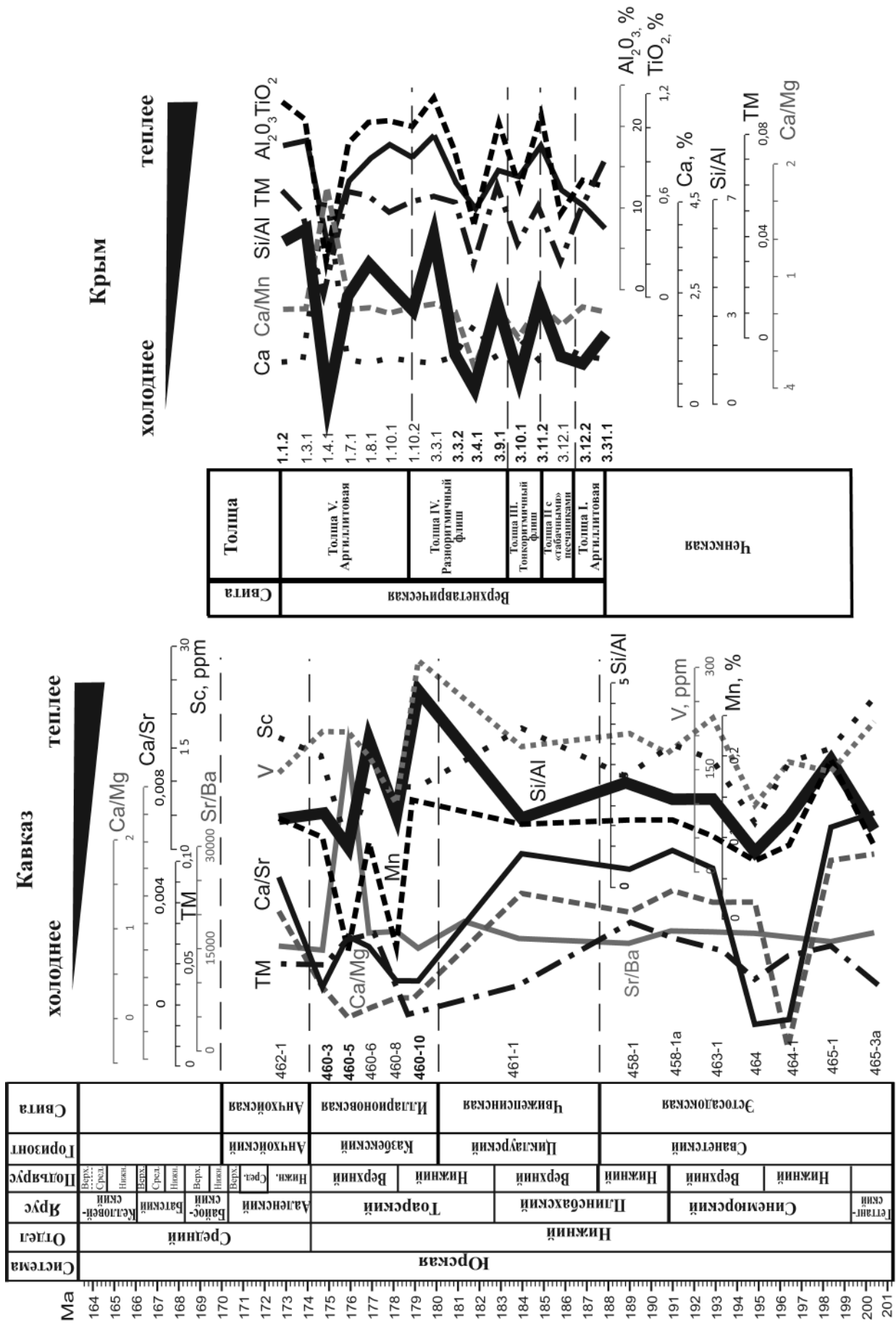


Рис. 8. Корреляция вариаций температуры в кавказской и крымской частях трого по геохимическим данным

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 и в меньшей степени к карбонатным [Скляр, 2001].

Значение отношения Fe/Mn варьирует от 38 до 70 (при аномальных значениях до 110, в среднем до 40), что подтверждает глубоководность бассейна.

Кроме того, на глубоководную фацию указывают другие показатели: увеличение содержания Sr свидетельствует об удаленности от источника сноса терригенного материала. Средние значения этого параметра 230–270 ppm, аномальные — 320–340 ppm.

**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 факультетный 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 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 [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 солёности бассейна.

Начало тоара характеризуется уменьшением показателей Fe/Mn, Sr, Ba, Al, Mn, что указывает на снижение глубины трога. Однако в конце раннего тоара и начале позднего тоара происходило увеличение этих показателей, а следовательно, углубление бассейна.

Скорее всего, с ослаблением прогибания и уменьшением глубины бассейна происходило его расширение, с чем связано последовательное увеличение зрелости постулавшего в него обломочного материала,

этим, в частности, объясняется циклическое строение верхнетаврической свиты [Панов, 1997]. В эвстатических вариациях в троге ведущую роль играл тектонический фактор.

В итоге на основе полученных данных построены палеобатиметрические кривые для Кавказа и Крыма, отражающие колебания уровня моря в раннеюрско-ааленское время в глубоководном троге (рис. 3–5). Глобальная эвстатическая кривая и кривая намагниченности взяты из данных программы «TimeScale Creator-2012».

Сравнивая полученные нами результаты с данными предшественников, отметим, что локальная палеобатиметрическая кривая, построенная для Краснополянской зоны, в целом не противоречит региональной палеобатиметрической кривой для Северо-Западного Кавказа [Ruban, Tyszka, 2005]. Также наблюдается следующая закономерность: при обмелении трога увеличивается солёность его вод.

**Для анализа изменения солёности** использованы значения отношений Sr/Ba и Ca/Sr. При нарушении физико-химического равновесия солевого 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 стремится практически к нулю, так как при увеличении солёности он замещается на Mg, сохранившийся до этого в осадке. Следовательно, увеличение значений Sr/Ba, Ca/Sr свидетельствует о повышении солёности раствора.

Концентрация B, S, Sr, 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 перемешивается с морской, скорость выпадения Cu в осадок уменьшается с повышением солёности получаемого раствора. Подвижность Zn также уменьшается с повышением солёности.

В итоге на основе полученных данных построены палеогалинометрические кривые для Кавказа, отражающие колебания солёности морских вод в раннеюрско-ааленское время в глубоководном троге (рис. 6, 7). Изменение солёности трога в тоарский век, вероятно, косвенно подтверждает вариации глубины бассейна. На кривой вариации солёности видно, что в раннем тоаре происходило опреснение воды, что коррелирует с общим увеличением глубины бассейна, но в позднем тоаре солёность повышалась, а бассейн становился относительно мелководнее. Из-за недостаточности данных оценка вариаций солёности в Крымской части трога не проведена.

На рис. 6, А видно, что к раннему аалену концентрация серы в разрезах Крыма и Кавказа увели-

чивалась, что, скорее всего, свидетельствует о более широком распространении областей с дефицитом растворенного в воде кислорода, поэтому предлагаем расширить границы этой области на северо-запад, в сторону Крыма (рис. 6, Б).

Для анализа **вариаций значений палеотемпературы** использованы следующие значения концентрации элементов и их отношения: V, Ca/Sr, Tm, Mn, Si/Al. Вариации температуры также можно оценить с помощью отношений Ca/Mg, Sr/Ba, Zn/Nb, (Ce, Nd, La, Ba)/Yb (Y, Zr). Палеотермометрические исследования авторы не проводили, поэтому значения температуры воды взяты из работы [Климат..., 2004], например, температура водных масс в палеобассейнах Крыма, Карпат, Кавказа и Памира составляла 20–22 °С в раннем тоаре и 15–17 °С в позднем тоаре. Более высокие значения палеотемпературы известны для тоарских бассейнов в Европе — 27–28 °С. Общее повышение температуры в палеобассейнах Европы от плинсбаха к тоару завершилось тоарским климатическим оптимумом, когда среднегодовые значения температуры достигали 28,4–32,9 °С в Северной Европе.

Общее похолодание в Кавказском регионе произошло в раннем аалене (14–14,5 °С), чем объясняется отсутствие находок планктонных фораминифер в аалене, за исключением находки «Protoglobigerinids» из переходных слоев тоара и аалена в разрезах Турции [Климат..., 2004]. Отметим, что этот факт можно объяснить регрессией и распространением вод в раннем аалене с дефицитом растворенного кислорода. В позднем аалене температура воды трога приблизилась к таковой в палеобассейнах Западной Европы и достигла 20–22 °С [Климат..., 2004]. При сопоставлении литературных данных с вариациями значений температуры на построенных нами кривых колебания температуры в раннеюрское время (рис. 8–10) выяснилось, что предположительно средняя температура акватории трога в районе Большого Кавказа (рис. 9) колебалась в пределах 14–22 °С, а в Крымской части трога — от 14,0 до 21,5 °С (рис. 10). Форма кривых, построенных по нашим данным (показаны на рис. 10 тонкой линией), в целом повторяет тенденции вариации температуры по литературным данным [Климат..., 2004], но с небольшим смещением во времени.

Для раннетоарского времени показатели V, Ca/Sr, Tm, Mn, Si/Al увеличились, что отвечает общему повышению температуры. Для позднего тоара значения этих показателей снизились, что интерпретировано нами как общее понижение температуры (рис. 6–8). Аналогичный тренд для указанного периода виден на температурной кривой, приведенной в работе [Климат..., 2004]. Кроме того, рост температуры увеличивает степень химического выветривания, что косвенно может влиять на повышение скорости осадконакопления в троге. Изменения палеотемпературы косвенно связаны с вариациями солености палеобассейна, так как при относительном потеплении соленость увеличивается.

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.

Потепление климата [Климат..., 2004] и сокращение стока («аридизация») в раннем тоаре в кавказской части трога хорошо видны на кривых распределения содержания Cu, Sc и V (рис. 3 и 8), которые демонстрируют увеличение их концентрации для этого временного интервала. Уменьшение значений концентрации этих элементов в позднетоарское время на фоне похолодания можно объяснить сокращением объема поступающего с суши материала (стока).

**Результаты геохимических исследований и их обсуждение.** Изменение климата напрямую связано с интенсивностью химического выветривания. Образование песчаников и глин тесно связано с климатом, но, к сожалению, образцы, взятые на Большом Кавказе, практически все глинистые (мало песчанистых разностей), что не дает полной картины изменения климата. В области Горного Крыма нами отобраны песчанистые и глинистые породы практически в равных отношениях. По форме палеотемпературной кривой видно (рис. 9 и 10), что уменьшение значений температуры в позднем тоаре—раннем аалене соответствует формированию аргиллито-алевролитовой формации. Это изменение может свидетельствовать о более влажном климате в этот период времени. В  $J_1p_2 - J_2t_1$  происходило увеличение значений температуры, а следовательно, накапливалась песчанистая формация (рис. 9, 10).

Нами соленость использована как дополнительный показатель условий осадконакопления. Изменение солености часто связано с опреснением воды из выпадающих в водоем источников. В позднем тоаре имело место значительное опреснение, почти синхронное с уменьшением глубины трога и понижением температуры вод, что могло быть вызвано увеличением объема речного стока в условиях влажного климата и отвечает времени накопления преимущественно глинистой формации.

Климат — важный фактор осадконакопления и постседиментационных преобразований. Климат в ранней юре был теплый и влажный [Климат..., 2004], климатическая вариация температуры вод в троге составляла 5–7 °С.

**Выводы.** 1. Впервые выполнен геохимический анализ нижнеюрско-ааленских отложений Крымско-Кавказского трога.

2. На основе полученных геохимических данных палеогеографически охарактеризовано раннеюрско-ааленское время.

3. Показаны тенденции вариации глубины трога, вызванные прежде всего тектоническим фактором, а также выявлены флуктуации солености и температуры вод в троговом бассейне.

4. Можно выделить следующие этапы изменения глубины бассейна: в течение синемюра — постепенное увеличение глубины трога с максимумом на си-

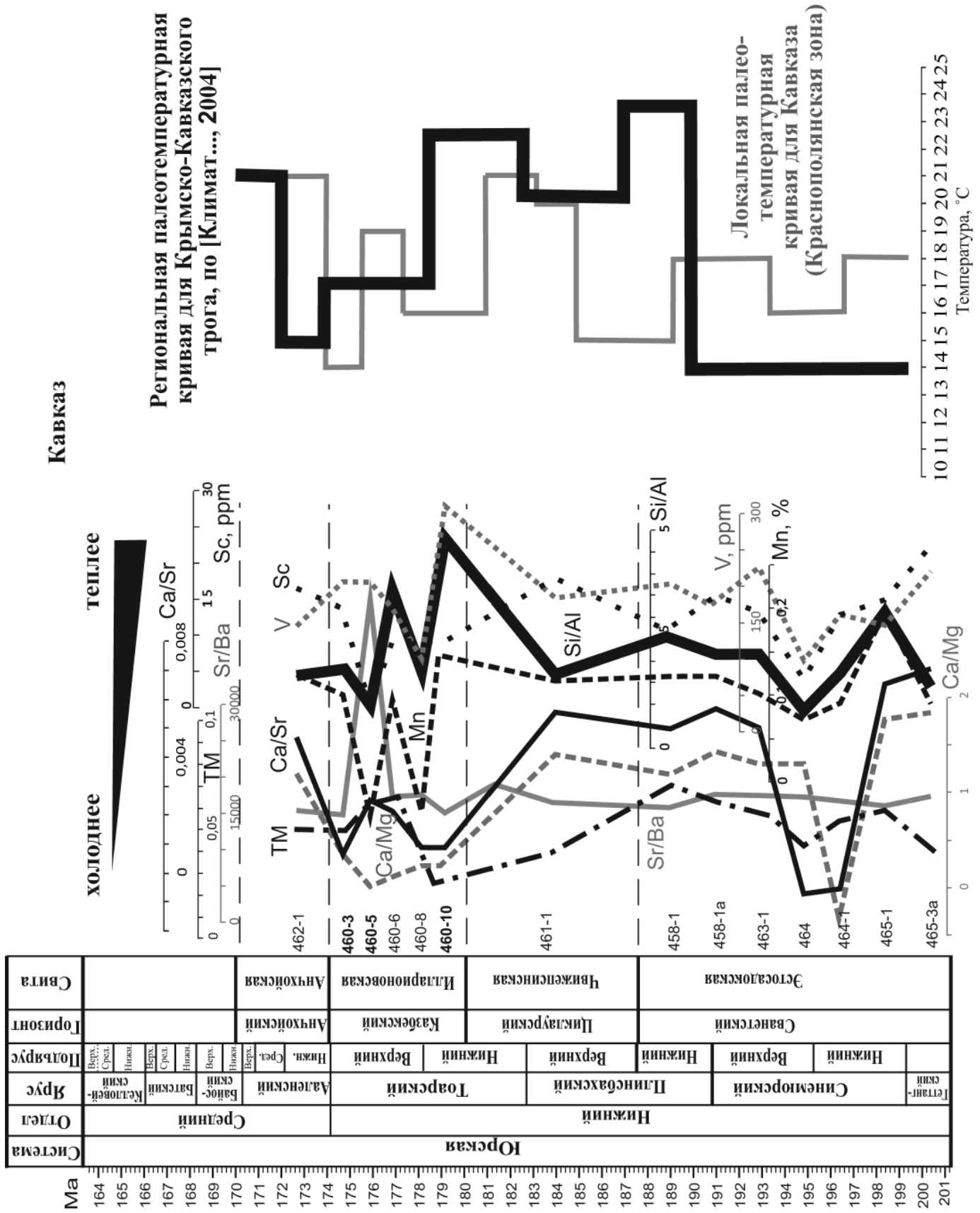


Рис. 9. Вариации температуры морских вод в кавказской части трога по геохимическим данным

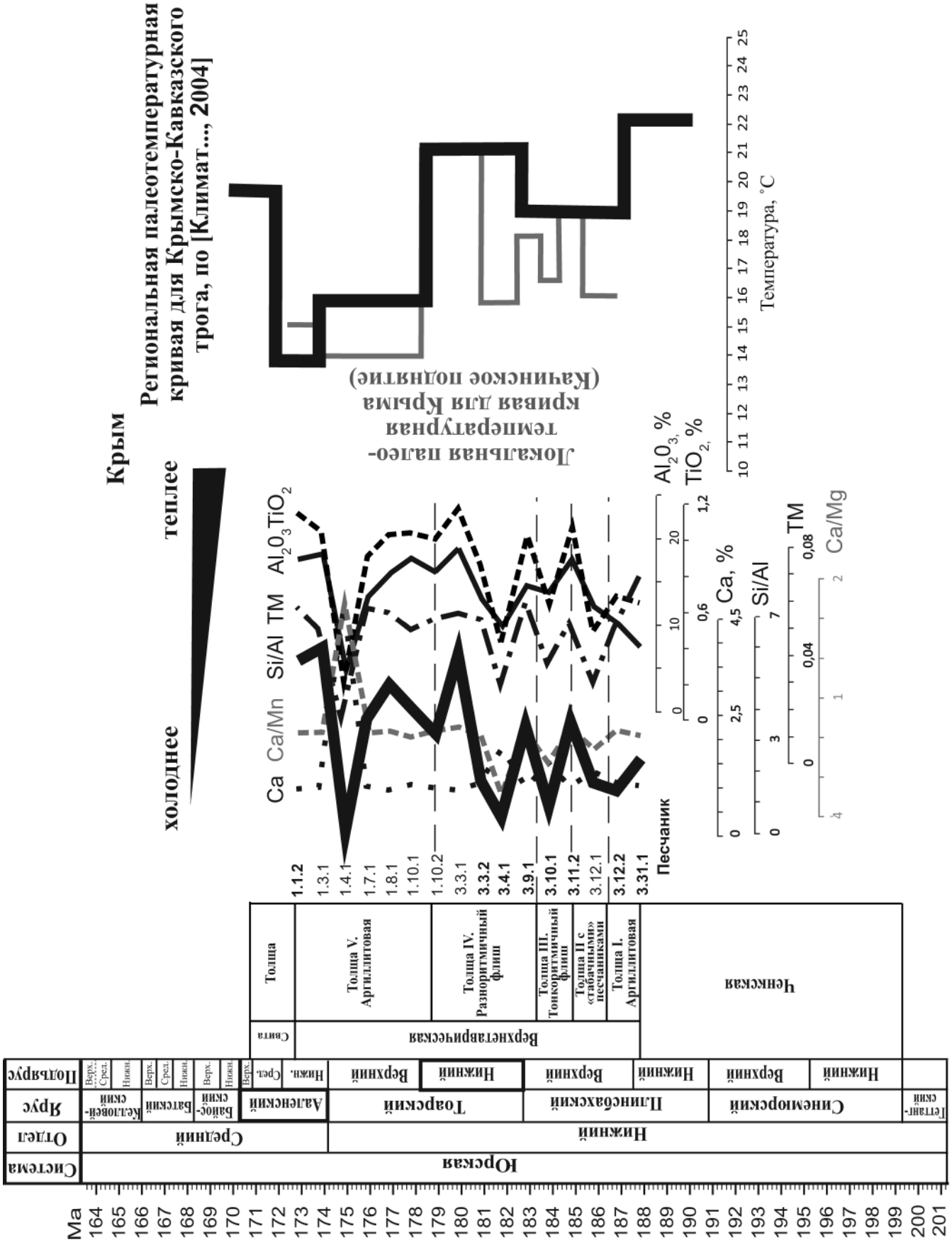


Рис. 10. Вариации температуры морских вод в крымской части трога по геохимическим данным



немюрско-плинсбахской границе, регрессия в  $J_1p_1$  и последующая трансгрессия в  $J_1p_2$ ; резкое падение эвстатического уровня в начале тоара, общее прогибание коры и углубление трога до конца тоара, а затем с конца тоара по аален включительно — регрессия.

В позднем тоаре имело место значительное опреснение вод, почти синхронное с уменьшением глубины трога и понижением температуры. В раннем аалене на фоне региональной регрессии возникли благоприятные условия для нарушения гидроциркуляции и формирования водных масс с дефицитом растворенного в воде кислорода. Климатические вариации температуры вод в трогге составляли  $\sim 5\text{--}7^\circ\text{C}$ , причем в Крымской части воды были теплее.

5. Анализ ритмограмм и характера флишевых толщ показал, что в интервале  $J_1s\text{--}J_2a$  существовал глубоководный троговый бассейн с несколькими источниками сноса осадочного материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н.* Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, 2007. 172 с.
- Барaboшкин Е.Ю., Дегтярев К.Е.* Псефиты таврической серии (район среднего течения р. Бодрак) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1988. № 4. С. 79–82.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В.* Прикладная стратиграфия в инженерной и экологической геологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013.
- Геология СССР. Т. 9. Северный Кавказ. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1968. 760 с.
- Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
- Густомесов В.А.* Заметки об юрских и нижнемеловых белемнитах Бахчисарайского района Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1967. Т. 42, вып. 3. С. 120–134.
- Енгальцев 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).
- Королев В.А.* Первая находка ископаемого растения в отложениях таврической серии (юго-западная часть Горного Крыма) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1983. № 2. С. 81–82.
- Логвиненко Н.В., Карпова Г.В., Шапошников Д.П.* Литология и генезис таврической формации Крыма. Харьков: Изд-во ХГУ, 1961. 400 с.
- Милеев В.С., Вишневецкий Д.Е., Фролов Д.К.* Триасовая и юрская системы // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989.
- Муратов М.В.* О стратиграфии триасовых и нижнеюрских отложений Крыма // Изв. вузов. Геология и разведка. 1959. № 11. С. 31–41.
- Никишин А.М., Алексеев А.С., Барaboшкин Е.Ю.* и др. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма: Учеб. пособие по Крымской практике. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006.
- Никишин А.М., Болотов С.Н., Барaboшкин Е.Ю.* и др. Мезозойско-кайнозойская история и геодинамика Крымско-Кавказско-Черноморского региона // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1997. № 3. С. 6–16.
- Панов Д.И.* К вопросу о геологической истории Крыма в триасовое и юрское время // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1997. № 3. С. 3–18.
- Панов Д.И.* Проблемы корреляции ниже-среднеюрских отложений Большого Кавказа // Стратиграфия. Геол. коррел. 2003. Т. 11, № 1. С. 64–77.
- Панов Д.И.* Вопросы регионального стратиграфического расчленения юрских отложений Кавказа // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2006. Т. 81, вып. 6. С. 81–90.
- Панов Д.И.* Стратиграфия и структура таврической серии (верхний триас — лейас) качинского поднятия Юго-Западного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84, вып. 5. С. 75–84.
- Панов Д.И., Болотов С.Н., Никишин А.М.* Схема стратиграфического расчленения триасовых и нижнеюрских отложений Горного Крыма // Геодинамика и нефтегазовые системы Черноморско-Каспийского региона: Сб. докл. III Междунар. конф. «Крым-2001». Крым, Гурзуф, 17–21 сентября. Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. С. 127–134.
- Панов Д.И., Пруцкий Н.И.* Стратиграфия ниже- и среднеюрских отложений Северо-Западного Кавказа // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58, вып. 1. С. 94–112.
- Скляров Е.В.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001.
- Славин В.И.* Новые данные о геологическом строении Красной Поляны и прилегающих частей Главного Кавказского хребта // Изв. вузов. Геология и разведка. 1958. № 6. С. 31–45.
- Цейслер В.М., Караулов В.Б., Туров А.В.* и др. О местных стратиграфических подразделениях в восточной части Бахчисарайского района Крыма // Изв. вузов. Геология и разведка. 1999. № 6. С. 8–18.
- Ruban D.A.* Diversity dynamics of Toarcian–Aalenian (Jurassic) ammonites and transgressions/regressions in the Greater Caucasus Basin (Caucasian Sea, northern Neo-Tethys Ocean): An evidence of partial dependence // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2012. Vol. 315–316. P. 124–133.
- Ruban D.A., Tyszká J.* Diversity dynamics and mass extinctions of the Early–Middle Jurassic foraminifers: A record from the Northwestern Caucasus // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2005. Vol. 222. P. 329–343.

Поступила в редакцию  
25.05.2014