

УДК 551.79

ХРОНОЛОГИЯ КАРАНГАТСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ДАТИРОВАНИЯ

© 2023 г. Д. В. Семиколенных^{a, b, *}, Р. Н. Курбанов^{a, b}, Т. А. Янина^{a, b}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

^bМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: aristova@igras.ru

Поступила в редакцию 18.10.2021 г.

После доработки 06.07.2022 г.

Принята к публикации 03.11.2022 г.

В начале позднего плейстоцена в пределах современного Азово-Черноморского бассейна синхронно с межледниковой трансгрессией мирового океана развивалась карангатская трансгрессия. На основе анализа фаунистических комплексов бассейн был охарактеризован как самый теплый и полноводный бассейн позднего плейстоцена, с соленостью воды, значительно превышающей соленость современного Черного моря. Наиболее полная последовательность осадков трансгрессии обнаружена в разрезе Эльтиген, расположенном на западном побережье Керченского пролива. Разрез был неоднократно изучен. Большинство палеогеографических заключений о развитии карангатской трансгрессии дано на основе анализа его отложений. Однако ввиду большой протяженности, фациальной изменчивости разреза и недостатка геохронологических данных однозначного мнения о том, как соотносятся отложения в разрезе, какому количеству фаз карангатской трансгрессии они соответствуют, каков их возраст, до сих пор нет. Целью работы является получение хронологии осадконакопления южной (тобечикской) части стратотипического разреза Эльтиген, которая подавляющим большинством исследователей принимается за отложения первой фазы карангатской трансгрессии. Получено 17 люминесцентных датировок по кварцу (ОСЛ) и по полевым шпатам (ИКСЛ, pIRIR₂₉₀): девять из лагунно-морских и прибрежно-морских отложений и восемь из вышележащей лессово-почвенной толщи. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря. Результаты ОСЛ-датирования показали, что в южной части разреза Эльтиген выделяется три цикла лагунно-прибрежно-морского осадконакопления возрастом 135–130 тыс. л. (МИС 6–МИС5е), 130–115 тыс. л. (МИС 5е) и 115–95 тыс. л. (МИС 5d-с). Накопление верхней субаэральная толщи началось не ранее 95 тыс. л. н.

Ключевые слова: Керченский пролив, Эльтиген, оз. Тобечикское, поздний плейстоцен, малакофауна, микулинское межледниковье

DOI: 10.31857/S2587556623010156, **EDN:** LUTYUQ

ВВЕДЕНИЕ

В начале позднего плейстоцена в пределах современного Азово-Черноморского бассейна синхронно с межледниковой трансгрессией мирового океана развивалась карангатская трансгрессия. Первым описал отложения карангатского бассейна Н.И. Андрусов (1905), назвав их тирренскими по аналогии с одновозрастными террасами Средиземного моря. Позднее изучением карангатских отложений занимались П.В. Федоров (1963, 1978), Л.А. Невеская (1965), Н.С. Благоволин (1962), Х.А. Арсланов (Арсланов и др., 1972, 1983), Е.Ф. Шнюков (Геология ..., 1981), В.А. Зубаков (Zubakov, 1988), Г.И. Попов (1983), В.В. Янко (Янко и др., 1990), А.Л. Чепалыга (Динамика ..., 2002), В.Н. Шелкопляс и Т.Ф. Христофорова

(2007), Е.Н. Бадюкова (2009), А.А. Свиточ (2009), Т.А. Янина (2012, 2014), Р.Н. Курбанов (Курбанов и др., 2019, 2020), Д.В. Семиколенных (Семиколенных, Курбанов, 2020) и др. Карангатский бассейн большинством исследователей был охарактеризован как самый теплый и полноводный бассейн позднего плейстоцена с соленостью воды, значительно превышающей соленость современного Черного моря. Развитие карангатской трансгрессии проходило нелинейно, а с трансгрессивно-регрессивными фазами, что отражено в фациальной и фаунистической изменчивости ее осадков.

Отложения карангатской трансгрессии встречаются в естественных береговых обнажениях Болгарии, Восточного Крыма, Тамани, Кавказа,

Турции, скважинами вскрыты на шельфах Черного и Азовского морей, в устьевых областях крупных рек, в акватории Керченского пролива и в западной части Колхидской низменности.

Несмотря на то, что карангатским отложениям было дано название по мысу Карангат, где А.Д. Архангельским и Н.М. Страховым (1938) был выделен стратотип, еще Н.И. Андрусовым (1905) было установлено, что наиболее полная последовательность осадков карангатской трансгрессии, вскрывающихся в береговых обнажениях, представлена в разрезе Эльтиген, расположенном на западном побережье Керченского пролива.

Разрез Эльтиген был неоднократно изучен практически всеми вышеуказанными исследователями, множество палеогеографических заключений о развитии карангатской трансгрессии дано на основе анализа его отложений. Однако ввиду большой протяженности, фациальной изменчивости разреза и недостатка геохронологических данных однозначного мнения о том, как соотносятся отложения в разрезе, какому количеству фаз карангатской трансгрессии они соответствуют, каков их возраст, до сих пор нет. Широко распространено представление (Динамика ..., 2002; Невеская, 1965; Шелкопляс и Христофорова, 2007; Янко и др., 1990; Zubakov, 1988; и др.), что в южной части разреза вскрываются отложения первой тобечикской (лиманной) фазы трансгрессии, представленные пачкой переслаивающихся глин, алевроитов и песков с эвригалинной фауной моллюсков, а отложения фазы максимального развития карангатской трансгрессии, представленные разнообразными песками, гравелитами, ракушнякам с включением стеногалинной фауны моллюсков, вскрываются в центральной и северной частях разреза. При этом П.В. Федоров еще в 1963 г. выступил с критикой выделения лиманных осадков разреза Эльтиген как отложений первой фазы карангатской трансгрессии, т.к., по его мнению, фациальная изменчивость не является для этого достаточным аргументом. Об этом же еще раньше писал и Г.И. Горецкий (1955).

Первая хронология накопления карангатских отложений разреза Эльтиген была получена с использованием уран-ториевого метода (Арсланов и др., 1972), результаты датирования показали возраст отложений в диапазоне 85–87 тыс. л. н. Параллельно морские осадки разреза были датированы радиоуглеродным методом (Геохронология ..., 1974; Семененко, Ковалюх, 1973), возраст отложений составил 27–42 тыс. л. Эти датировки не могут считаться сколько-нибудь достоверными ввиду физических ограничений метода. Позднее отложения вновь были датированы уран-ториевым методом, все датировки оказались в интервале 88–129 тыс. л. н. (Арсланов и др., 1972, 1983; Dodonov et al., 2000), также была предпри-

нята попытка получить возраст тобечикских отложений термолюминесцентным методом, получена датировка 205.0 ± 50.0 тыс. л. н. (Dodonov et al., 2000).

Разрозненные датировки, полученные разными геохронологическими методами, дали основание полагать, что отложения разреза Эльтиген формировались в течение МИС 5. Более точные временные интервалы до сих пор не определены, до сих пор нет понимания, как разнофациальные слои соотносятся между собой в пределах разреза.

В 2018 г. нами был получен ряд ОСЛ датировок (Курбанов и др., 2019), благодаря которым удалось установить возрастной диапазон отложений центральной части разреза Эльтиген и выделить две фазы осадконакопления.

Первый опыт люминесцентного датирования разреза Эльтиген продемонстрировал перспективность применения этого метода для определения возраста карангатских отложений, однако исследованием была охвачена лишь центральная часть обнажения. Целью настоящей работы является определение возраста и условий осадконакопления южной (тобечикской) части разреза, которая в литературе принимается за отложения первой, самой ранней, фазы карангатской трансгрессии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разрез Эльтиген протяженностью около 3.5 км, расположен между с. Героевское и пересыпью, отделяющей Тобечикское озеро от моря (рис. 1). Это абразионный уступ, высота которого достигает 13–15 м, в нем вскрывается толща преимущественно прибрежно-морских отложений карангатской трансгрессии, перекрытых лессом с двумя–тремя слабо развитыми палеопочвами. В тектоническом отношении разрез находится в южном крыле Эльтигенской брахиантиклинальной складки (Благоволин, 1962), которая до сих пор продолжает деформироваться, что выражается в дислокации морских осадков с типичной карангатской фауной (Благоволин, 1962; Федоров, 1963) и в выходе палеогеновых глин в средней части разреза.

Нами изучено обнажение в южной части разреза близ пересыпи Тобечикского оз. Исследования выполнены фациально-литологическим, макрофаунистическим и геохронологическим методами. Анализ фауны моллюсков выполнен в Лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с целью биостратиграфического обоснования геологического возраста осадков и понимания палеоэкологических условий их накопления.



Рис. 1. Местонахождение разреза Эльтиген.

Абсолютная хронология получена методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ). Датирование разновозрастных отложений выполнено в Скандинавской лаборатории люминесцентного датирования Орхусского университета. Отбор образцов проводился в темное время суток в светонепроницаемые пакеты, чтобы исключить воздействие света на образцы; отдельно отобран материал для гамма-спектрометрического анализа (Актуальные проблемы ..., 2020). Предварительная подготовка проб проведена в Лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова по принятому в Орхусском университете протоколу. Подготовка проб выполнялась по стандартной методике (Курбанов и др., 2019). Определение эквивалентной дозы выполнено по протоколу датирования SAR (Murray and Wintle, 2003). Люминесцентное датирование проведено по зернам кварца (18–24 аликвоты) и полевого шпата (6–11 аликвот) размером 180–250 мкм. Измерения выполнены на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Risø (модель DA-20). Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника — изотопа стронция-90.

Полевой шпат способен накопить больше люминесцентного сигнала, чем кварц, поэтому для тех отложений, где кварц достиг предела возможностей датирования, хронология построена по результатам, полученным по протоколу датирования $pIRIR_{290}$ (Buylaert et al., 2013) по полевым шпатам. Данная методика детально описана в нашей статье, посвященной датированию отложений центральной части разреза Эльтиген (Курбанов и др., 2019).

Определение скорости накопления дозы (активности радионуклидов) в образцах выполнено на высокоточном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе особо чистого германия по методике, описанной А.Ш. Мюрре-ем с соавторами (1987). Вклад космических лучей рассчитан в соответствии с Дж.Р. Прескоттом и Дж.Т. Хаттоном (1994).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В обнажении южной части разреза Эльтиген (N 45°10'53.75 E 36°24'17.45) высотой 5.8 м от уреза сверху вниз вскрываются следующие отложения (рис. 2): (1) палевый суглинок (современная каштановая почва) мощностью 0.45 м с включением корней растений, ходов животных, карбонатных образований и раковин наземных моллюсков, переход к нижележащему слою постепенный; (2) палевый лессовидный суглинок мощностью 0.35 м с включением корней растений, ходов животных, карбонатных образований и редких раковин наземных моллюсков, переход к нижележащему слою постепенный; (3) опесчаненный суглинок мощностью 0.2 м с включением гальки, гравия и переотложенных раковин морских моллюсков, переход к нижележащему слою постепенный; (4) опесчаненный палевый лессовидный суглинок мощностью 1.25 м с включением редких раковин наземных моллюсков, переход к нижележащему слою постепенный; (5) косо- и горизонтально-слоистые ожелезненные палевые смятые в седиментационные складки пески мощностью 0.6 м с включением гальки, гравия и фауны морских моллюсков, граница с нижележащим слоем четкая; (6) сизые опесчаненные глины мощностью 0.45 м с включением редких мелких тонкостворчатых раковин морских моллюсков,

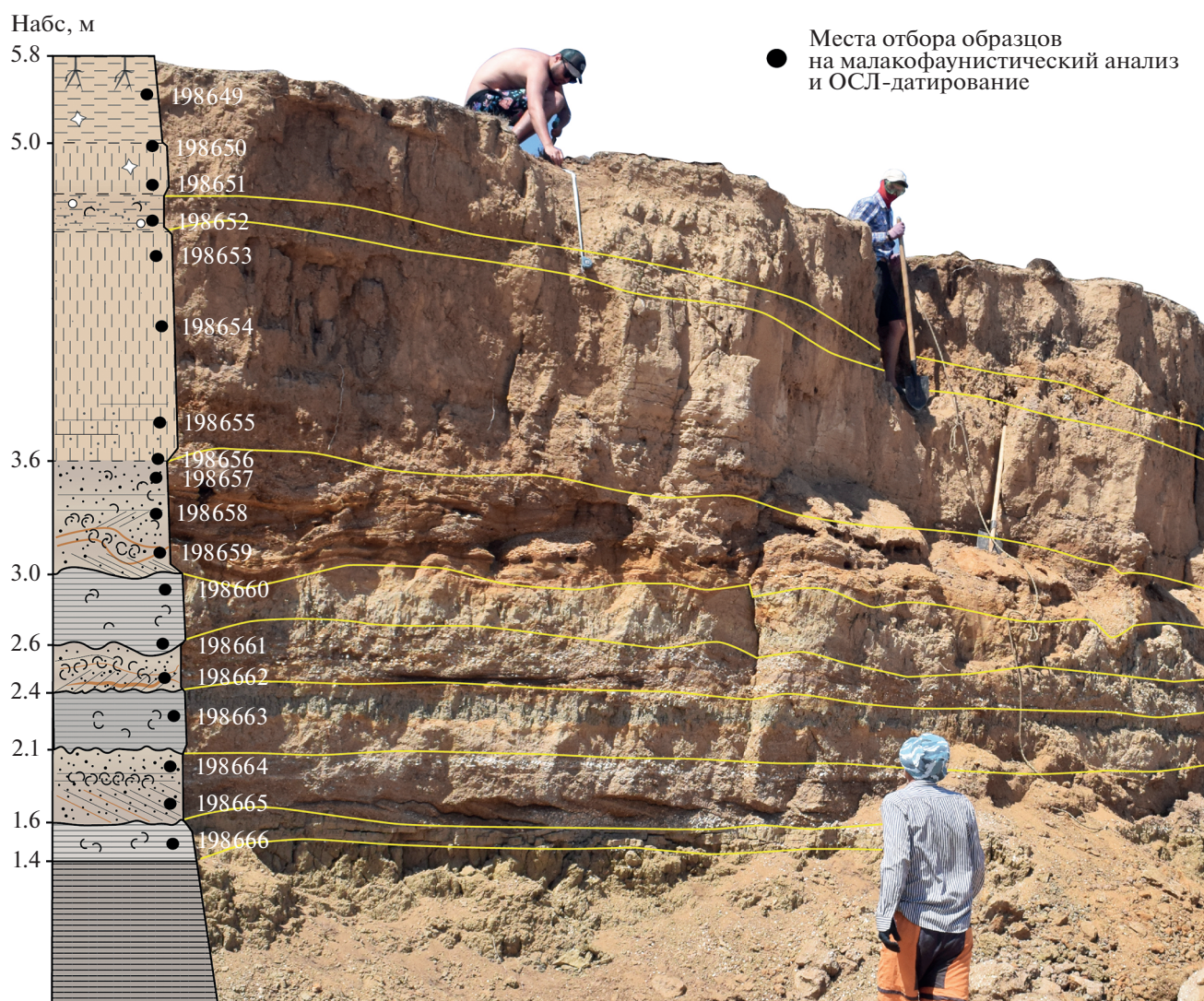


Рис. 2. Обнажение южной части разреза Эльтиген и литологическая колонка с отмеченными местами отбора образцов (см. легенду к рис. 3).

граница с нижележащим слоем четкая; (7) косо- и горизонтально-слоистые ожелезненные палевые пески мощностью 0.25 м с включением гальки, гравия и раковин морских моллюсков, в подошве наблюдается прослой гравия, граница с нижележащим слоем четкая; (8) светло-сизые горизонтально-слоистые опесчаненные глины мощностью 0.35 м с включением мелких тонкостворчатых раковин морских моллюсков, граница с нижележащим слоем четкая; (9) косо- и горизонтально-слоистые ожелезненные палевые детритовые пески мощностью 0.4 м с включением раковин морских моллюсков, в подошве наблюдается прослой гравия, граница с нижележащим слоем четкая; (10) светло-сизые горизонтально-слоистые глины мощностью 0.2 м с включением мелких тонкостворчатых раковин морских моллюсков, граница с нижележащим слоем четкая; (11)

темно-сизые глины со следами ожелезнения, видимая мощность слоя 0.6 м.

В обнажении выделяются десять эпизодов смены режима осадконакопления. В морской толще прослеживается чередование лагунных и прибрежно-морских (три цикла) осадков, что указывает на колебания уровня карангатского моря и на периодический размыв пересыпи оз. Палео-Тобечик, а в континентальной толще между слоями лессовидного суглинка выделяются более темные отложения неясного генезиса, характеризующиеся высокой опесчаненностью и наличием включений мелкой гальки, гравия и переотложенных раковин моллюсков, что может быть связано с повышением влажности в период их накопления и активизации склоновых и русловых процессов на данной территории.

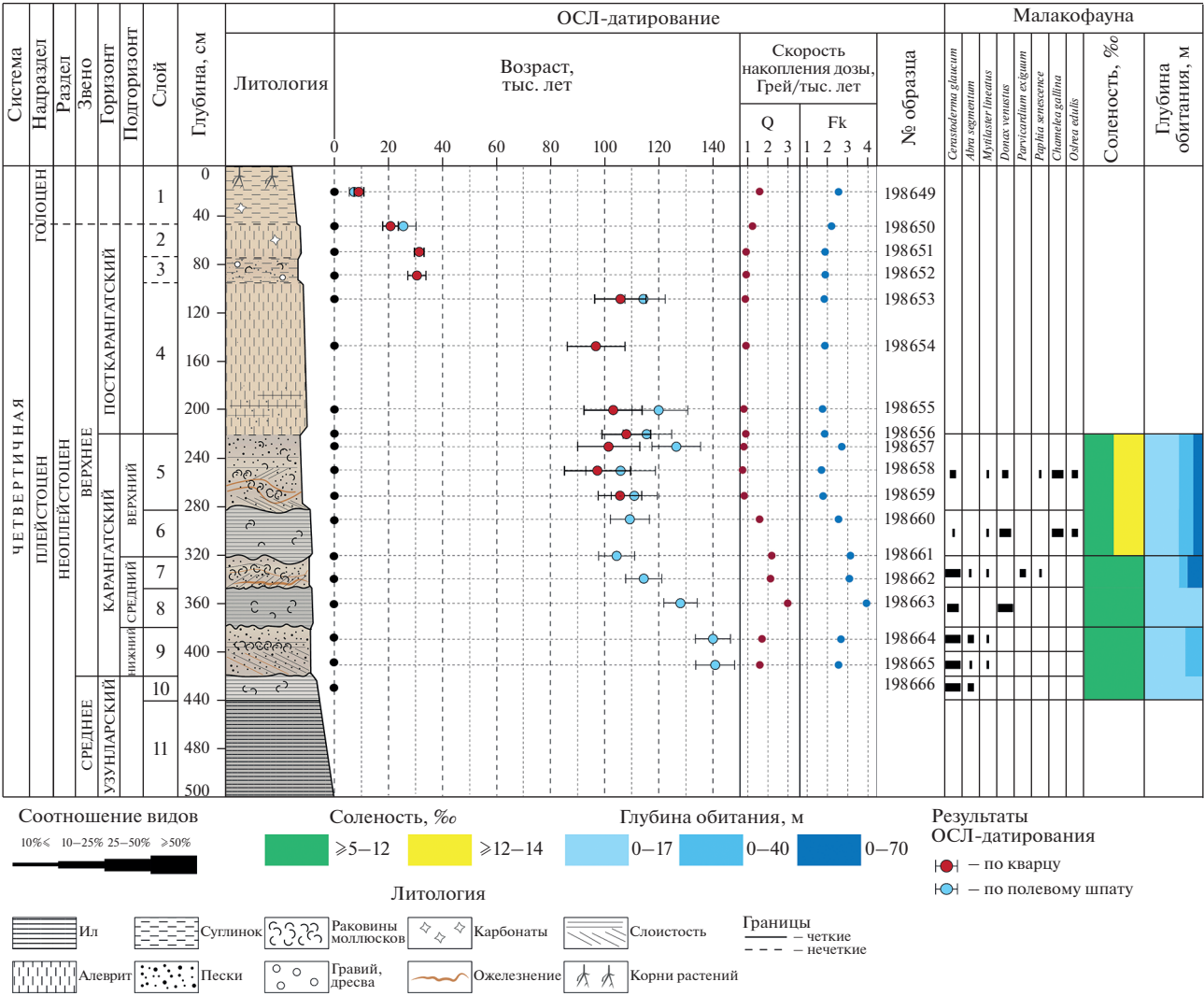


Рис. 3. Схема отложений южной части разреза Эльтиген и результаты малакофаунистического и геохронологического анализов.

Малакофаунистический анализ

Результаты малакофаунистического анализа отложений южной части разреза Эльтиген представлены на рис. 3 и в табл. 1.

В толще илов в интервале 4.4–4.2 м (слой 10) был обнаружен малакофаунистический комплекс, в составе которого присутствуют только два вида эвригалинных моллюсков, но в достаточно большом количестве: *Cerastoderma glaucum* и *Abra segmentum*, с заметным доминированием первого. Выше в песках до 3.8 м (слой 9) в составе комплекса появляется в единичных количествах эвригалинный *Mytilaster lineatus*. На глубине 3.6–3.4 м (слой 8) в прослое илов наблюдается обедненный комплекс, представленный единичными и слабо развитыми *Cerastoderma glaucum* и *Donax venustus*, однако появление последнего указывает на повышение солености в бассейне до 14‰. В

интервале 3.4–3.2 м (слой 7) в песчаном прослое заметно увеличивается численность раковин и видовое разнообразие: наряду с *Cerastoderma glaucum*, *Abra segmentum* и *Mytilaster lineatus* комплекс представлен *Parvicardium exiguum* и *Paphia senescens*. Выше с 3.0 м (слой 6) в составе отложений наблюдаются умеренно стеногалинные моллюски, типичные для отложений верхней фазы карангатской трансгрессии – *Ostrea edulis* и *Chamelea gallina*, последний преобладает, эвригалинные виды отходят на второй план (рис. 4).

Анализ экологических предпочтений различных видов моллюсков в обнажении показал значительное содержание эвригалинных видов практически во всех морских осадках разреза с доминированием *Cerastoderma glaucum*, за исключением самой верхней пачки прибрежно-морских песков, где увеличивается видовое разнообразие моллюсков.

Таблица 1. Двустворчатые моллюски в обнажении южной части разреза Эльтиген

№	Вид	198666	198665	1986564	198663	198662—61	198660	198659—56
		Количество/средний размер, см						
1	<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	15/1.1	4/0.1	16/1.1	—	7/1.0	—	—
2	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	52/1.8	98/1.9	55/1.5	4/1.0	67/1.4	2/0.8	9/1.9
3	<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	—	—	—	—	—	7/0.9	28/1.5
4	<i>Donax venustus</i> (Poli, 1795)	—	—	—	5/1.1	—	7/0.9	13/1.4
5	<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	—	4/0.4	1/1.4	—	3/0.6	3/1.0	4/1.4
6	<i>Ostrea edulis</i> (Linnaeus, 1758)	—	—	—	—	—	3/2.0	9/3.0
7	<i>Paphia senescens</i> (Cocconi, 1873)	—	—	—	—	10/3.2	—	1/1.6
8	<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	—	—	—	—	16/0.9	—	—

ков и встречаются умеренно стеногалинные виды (*Ostrea edulis*, *Chamelea gallina*, *Donax venustus*), характерные для бассейнов с соленостью вод выше 14‰. Такое распределение комплексов моллюсков указывает на то, что среда бассейна изменялась в сторону увеличения солености, а чередование илистых и песчаных отложений свидетельствует об изменении условий осадконакопления — от лагунных условий к прибрежно-морским.

Состав фаунистических комплексов (в частности наличие руководящего вида карангатских отложений — *Paphia senescens*) дает основание отнести установленные циклы осадконакопления к одной трансгрессивной эпохе и определить возраст отложений слоев 5–10 обнажения как карангатский.

Люминесцентное датирование

Для определения абсолютного возраста (табл. 2) отложений южной части разреза Эльтиген комбинацией ОСЛ и ИКСЛ методов было отобрано 18 образцов: десять из лагунных и прибрежно-морских отложений (198657–198666) и восемь из вышележащей лессово-почвенной толщи (198649–198656).

Скорость накопления дозы рассчитана по результатам измерения активности образцов на гамма-спектрометре (табл. 3).

На рис. 5 представлены примеры типичных кривых насыщения и затухания люминесцентного сигнала для образцов кварца (198650) и полевым шпатам (198653). При проверке люминесцентных свойств используемых при датировании минералов было установлено, что в отклике кварца, как и ожидалось, доминирует быстрый компонент (см. рис. 5а, врезка). Это означает, что образцы кварца подходят для датирования, т.к. быстрый компонент наиболее стабилен, быстро удаляется при воздействии солнечного света, но в тоже время менее восприимчив к колебаниям температуры (Wintle and Murray, 2006). ИКСЛ-

сигнал полевых шпатов затухает гораздо медленнее, чем быстрый компонент ОСЛ-сигнала кварца, однако отклик на стимуляцию при температуре 260°C весьма интенсивен и позволяет провести достаточно точные измерения (см. рис. 5б, врезка).

Дополнительно к стандартным тестам (тест чистоты, тест рекуперации и др.) для проверки пригодности протоколов ОСЛ и ИКСЛ-датирования был проведен тест восстановления дозы. Предварительно засвеченным аликватам образцов 198650 и 198653 (24 часа в симуляторе солнечного света) были заданы дозы до 100 Грей для кварца (см. рис. 5а) и до 225 Грей (см. рис. 5б) для полевых шпатов, после чего проведены измерения согласно протоколу SAR. Результаты измерений показали, что известная лабораторная доза может быть достаточно точно измерена с использованием SAR-протокола, т.к. соотношение заданных и измеренных доз в более 80% измерений не выходят из диапазона 0.9–1.1.

Разрез оказался довольно сложным для ОСЛ-датирования из-за частого чередования слоев песка и илов, так как содержание радиоактивных элементов может значительно варьироваться в зависимости от литологических характеристик отложений. Так, для осадков, содержащих больше глинистых частиц, характерны более высокие значения скорости накопления дозы, в то время как песчаные прослои, в особенности обогащенные карбонатным материалом (раковины моллюсков и оолитовые зерна), зачастую имеют скорость накопления дозы менее 1 Грей/тыс. лет (Курбанов и др., 2021).

Первые два образца (198649, 198650) показывают относительно высокие скорости накопления дозы, что характерно для каштановых почв из-за повышенной концентрации радионуклидов. Ниже, образцы, отобранные из опесчаненного лессовидного суглинка, характеризуются относительно низкими скоростями накопления дозы (ниже 1 Грей/тыс. лет). Распределение эквивалентных доз в образцах из слоев 1–4 можно разделить на

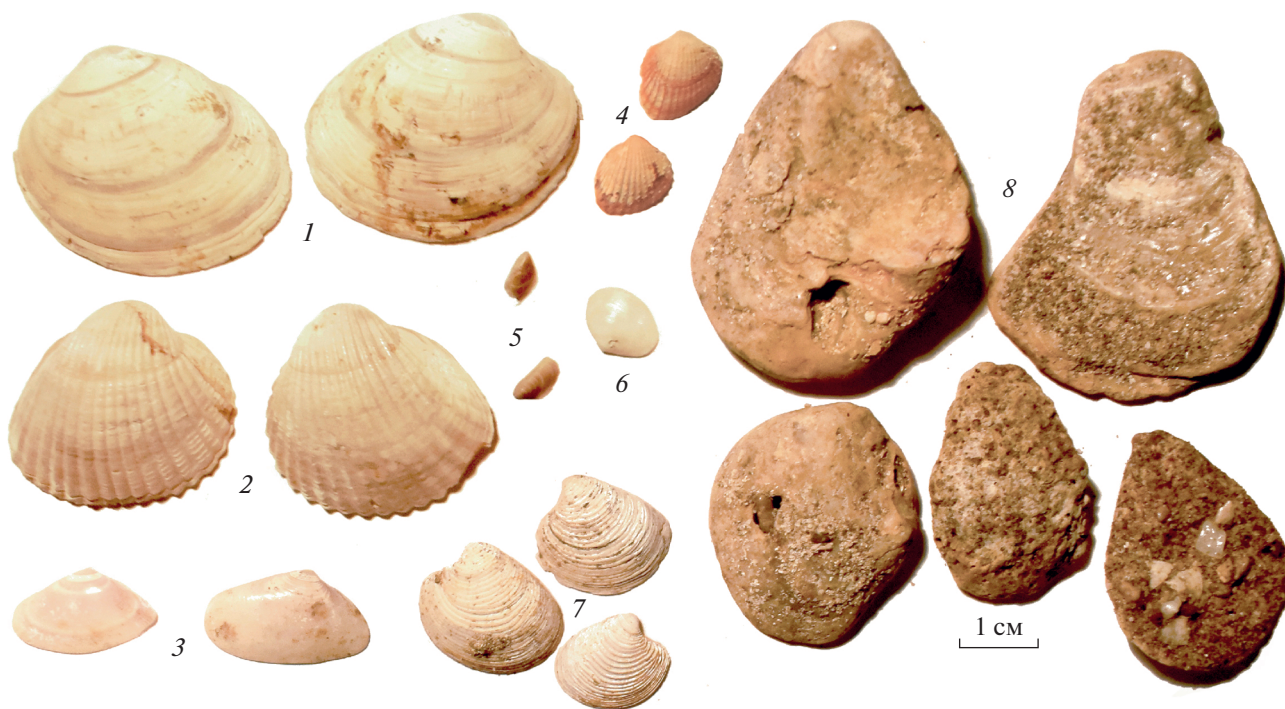


Рис. 4. Раковины моллюсков из отложений южной части разреза Эльтиген: 1 – *Paphia senescens*, 2 – *Cerastoderma glaucum*, 3 – *Donax venustus*; 4 – *Parvicardium exiguum*; 5 – *Mytilaster lineatus*; 6 – *Abra segmentum*; 7 – *Chamelea gallina*; 8 – *Ostrea edulis*.

три группы – 15 Грей (198649), 25–30 Грей (198650–198652) и 83–97 Грей (198653–198655). Возраст слоя 1, соотносимого с современной каштановой почвой, показал, что почвообразование в районе разреза Эльтиген происходило на протяжении большей части голоценового времени. Возраст слоев 2–3 располагается в интервале 20–32 тыс. л. н. Датирование образца 198651 показало инверсию в возрасте, однако датировки, полученные для образцов 198651 и 198652, имеют близкие значения и их доверительные интервалы перекрываются, что указывает на высокие скорости осадконакопления около 30 тыс. л. н. В слое 4 также отмечается наличие инверсий, что аналогично со слоями выше может быть объяснено высокими скоростями осадконакопления, а также очень низким содержанием ^{40}K , вносящим большой вклад в общую скорость накопления дозы. Разницу в столь низких значениях между 30 и 40 Бк/кг сложно определить даже с помощью высокоточной гамма-спектрометрии. Помимо этого, полученные для лессовых образцов эквивалентные дозы имеют высокую дисперсию (рис. 6а), а для нижнего образца (198655) была получена ограниченная навеска зерен кварца, и было измерено лишь 14 аликвот, что также снижает надежность итоговой датировки. Таким образом, возраст лессов слоя 4, мощностью около 1 м, по-видимому, находится в интервале 90–110 тыс. л. н. Однако, несмотря на инверсии и достаточно вы-

сокую дисперсию эквивалентных доз образцов лесса, возраст образцов 198649–198650, 198653, 198655–198659, полученный по кварцу, с учетом доверительных интервалов совпал с возрастом, рассчитанным по полевым шпатам, что указывает на то, что сигнал в кристаллах перед погребением был хорошо обнулен.

Толща морских отложений слоев 5–6 (цикл III) характеризуется постепенным увеличением возраста от ~98 до ~107 тыс. л. н. с несколькими инверсиями. Соотношение pIRIR/Q слоя 5 колеблется в пределах 1.07–1.25 (среднее 1.11), т.е. возраст, полученный по полевым шпатам, на 7–25% древнее возраста, полученного по кварцу, причем, наибольшая разница между датировками наблюдается для верхней части слоя 5. Это явление может объясняться неполной засветкой полевых шпатов в момент формирования переходной от прибрежно-морских к лессовидным отложениям толщи. Дисперсия эквивалентных доз песчаных образцов в сравнении с лессовыми ниже (рис. 6б), что подразумевает более высокую точность итоговой датировки. С глубины 290 см в образцах 198660–198665 люминесцентные ловушки в кристаллах кварца оказались полностью насыщены (достигли уровня сатурации), что, по-видимому, является следствием высокой скорости дозы в мелкодисперсных грунтах (4.0 ± 0.2 Грей/тыс. л.). Для вышеуказанных образцов датирование проведено на основе результатов из-

Таблица 2. Результаты ОСЛ-датирования отложений разреза Эльтиген

№	Лаб. номер	Глубина, см	Слой	Литология	Измерения по кварцу (ОСЛ)			Измерения по полевым шпатам (ИКСЛ, pIRIR ₂₉₀)		
					доза, Грей	возраст, тыс. л.	количество аликвот	доза, Грей	возраст, тыс. л.	количество аликвот
1	198649	20	1	Суглинок	15.2 ± 0.9	9.5 ± 0.8	14	21.6 ± 0.3	8.5 ± 0.4	4
2	198650	50	2	Лессовидный суглинок	25.4 ± 3.3	20.4 ± 2.9	22	52.1 ± 9.8	23.9 ± 4.6	4
3	198651	70			30.5 ± 2.7	32.8 ± 3.5	21	*	*	*
4	198652	90	3	Суглинок	29.0 ± 2.5	31.2 ± 3.2	23	*	*	*
5	198653	110	4	Лессовидный суглинок	93.3 ± 6.8	105.6 ± 9.8	20	208.6 ± 9.3	114.5 ± 7.5	8
6	198654	150			91.0 ± 7.7	98.7 ± 10.1	16	*	*	*
7	198655	200			83.7 ± 7.5	102.8 ± 11.0	13	210.2 ± 14.4	120.0 ± 10.1	7
8	198656	220	5	Супесь	97.2 ± 6.0	107.1 ± 9.3	19	212.0 ± 12.8	114.9 ± 8.9	8
9	198657	230		Песок	80.6 ± 7.9	101.4 ± 11.7	15	218.9 ± 11.0	126.4 ± 8.9	10
10	198658	250			73.7 ± 8.2	98.0 ± 12.5	14	177.7 ± 19.8	105.1 ± 12.9	10
11	198659	270			86.9 ± 4.9	105.2 ± 8.9	13	197.8 ± 28.4	112.2 ± 17.0	4
12	198660	290	6	Ил	**	**	**	276.9 ± 36.6	109.5 ± 15.3	11
13	198661	320			**	**	**	326.3 ± 16.1	104.5 ± 6.9	8
14	198662	340	7	Песок	**	**	**	351.9 ± 15.3	114.8 ± 7.6	7
15	198663	360	8	Ил	**	**	**	502.2 ± 18.0	128.2 ± 7.3	7
16	198664	390	9	Песок	**	**	**	371.6 ± 7.2	140.1 ± 6.9	8
17	198665	410			**	**	**	360.2 ± 8.8	141.7 ± 7.6	8
18	198666	430	10	Ил	**	**	**	>1000	>250	6

Примечание. * – Недостаточная навеска полевых шпатов, необходимых для измерений; ** – образцы кварца в насыщении.

мерения эквивалентной дозы по полевым шпатам (pIRIR₂₉₀).

Для цикла II (слои 7–8) получено две даты, определяющие возраст этапа в 115–128 тыс. л. н. Нижняя часть карангатских отложений (цикл I, слой 9), судя по датировкам, могла сформироваться в интервале около 133–149 тыс. л. н. Однако, учитывая тот факт, что накопление толщи прибрежно-морских осадков с включением морской фауны в районе разреза Эльтиген могло происходить только в результате поступления в Керченский пролив морских вод вследствие межледниковой трансгрессии Мирового океана (Lisiecki and Stern, 2016), мы определяем возраст I фазы карангатской трансгрессии по верхней границе возрастного диапазона – в 133–135 тыс. л. н. Датировка из светло-сизых глин оказалась за пределами даже для полевых шпатов, все аликвоты в полном насыщении, что может указывать на возраст слоя 10 не менее 250 тыс. л.

Таким образом, в основании разреза вскрываются горизонтально-слоистые глины, на которых с размывом залегают лагунно-лиманские отложе-

ния, отвечающие, возможно, узунларской трансгрессии (сигнал кварца и полевого шпата находится в насыщении).

Выше, в толще переслаивающихся лагунных и прибрежно-морских отложений, выделяются три группы датировок, соответствующих трем циклам осадконакопления: 1) в слое 9 (песок) диапазоном 141.7 ± 7.6–140.1 ± 6.9 тыс. л. н.; 2) в слоях 8 (ил) и 7 (песок) диапазоном 128.2 ± 7.3–114.8 ± 7.6 тыс. л. н.; 3) в слоях 6 (ил) и 5 (песок-супесь) диапазоном 109.5 ± 15.3–98.0 ± 12.5 тыс. л. н. Данные циклы связаны с изменением режима осадконакопления в районе оз. Палео-Тобечик, что является следствием осцилляции уровня карангатского бассейна на фоне развивающейся трансгрессии.

Первоначальное проникновение вод карангатской трансгрессии в понижение Тобечикского оз. произошло не позднее 141.7 ± 7.6 тыс. л. н. Возраст самого продолжительного этапа прибрежно-морского осадконакопления по результатам датирования определен в 107–98 тыс. л. н. За это время была образована толща морских

Таблица 3. Результаты гамма-спектрометрического анализа отложений разреза Эльтиген. Содержание радиоактивных элементов в образце и скорость накопления дозы для кварца и полевых шпатов, WC — водонасыщение породы

№	Лаб. номер	Глубина, см	Слой	Литология	WC, %	^{226}Ra , Бк/кг	^{232}Th , Бк/кг	^{40}K , Бк/кг	Скорость накопления дозы	
									кварц, Грей/тыс. л.	полевые шпаты, Грей/тыс. л.
1	198649	20	1	Суглинок	10	32.1 ± 0.6	21.5 ± 0.5	198 ± 8	1.59 ± 0.07	2.52 ± 0.10
2	198650	50	2	Лессовидный суглинок	10	32.0 ± 0.4	15.8 ± 0.3	115 ± 4	1.24 ± 0.06	2.18 ± 0.08
3	198651	70			10	28.7 ± 0.7	10.4 ± 0.5	53 ± 7	0.93 ± 0.05	1.86 ± 0.08
4	198652	90	3	Суглинок	10	25.1 ± 0.5	11.2 ± 0.3	65 ± 4	0.93 ± 0.05	1.87 ± 0.08
5	198653	110	4	Лессовидный суглинок	10	29.8 ± 0.4	11.1 ± 0.2	32 ± 2	0.88 ± 0.05	1.82 ± 0.08
6	198654	150			10	31.5 ± 0.4	10.8 ± 0.4	41 ± 3	0.92 ± 0.05	1.85 ± 0.08
7	198655	200			10	29.0 ± 0.3	9.2 ± 0.2	28 ± 3	0.81 ± 0.04	1.74 ± 0.08
8	198656	220	5	Супесь	10	30.8 ± 0.8	10.5 ± 0.6	47 ± 8	0.91 ± 0.05	1.84 ± 0.08
9	198657	230		Песок	5	30.5 ± 0.5	24.5 ± 0.3	247 ± 5	0.80 ± 0.05	2.69 ± 0.11
10	198658	250			5	25.5 ± 0.6	7.0 ± 0.4	28 ± 6	0.75 ± 0.04	1.68 ± 0.08
11	198659	270			5	27.7 ± 0.5	7.3 ± 0.3	51 ± 4	0.83 ± 0.05	1.76 ± 0.08
12	198660	290	6	Ил	20	35.9 ± 0.7	23.6 ± 0.5	260 ± 8	1.59 ± 0.08	2.53 ± 0.10
13	198661	320			20	38.2 ± 0.8	40.5 ± 0.7	503 ± 14	2.19 ± 0.11	3.12 ± 0.12
14	198662	340	7	Песок	5	49.4 ± 1.2	26.7 ± 0.8	275 ± 14	2.13 ± 0.13	3.07 ± 0.14
15	198663	360	8	Ил	20	28.7 ± 0.6	52.8 ± 0.6	697 ± 10	2.98 ± 0.14	3.92 ± 0.15
16	198664	390	9	Песок	5	48.0 ± 0.5	24.5 ± 0.4	247 ± 7	1.71 ± 0.09	2.65 ± 0.11
17	198665	410			5	30.0 ± 0.7	20.9 ± 0.8	231 ± 9	1.60 ± 0.09	2.54 ± 0.11
18	198666	450	10	Ил	25	33.6 ± 0.4	57.3 ± 0.4	737 ± 8	4.00 ± 0.15	3.06 ± 0.14

осадков мощностью около 60 см. Инверсии возраста и некоторое увеличение соотношения возрастов по кварцу и полевым шпатам, по-видимому, указывают на рост объемов поступающего терригенного материала, образующегося в результате берегового размыва, либо активизации эрозионных процессов в многочисленных ныне сухих долинах, впадающих в оз. Палео-Тобечик.

Накопление верхней субэвальной толщи началось не ранее 98 тыс. л. н. Характер распределения аликвот и наличие инверсий указывает на активное накопление лессов. Материал поступал из местных источников, возможно, с осушавшегося подводного берегового склона.

Маломощный горизонт на глубине 0.75–0.95 м с включением переложенных раковин морских моллюсков, гальки и гравия имеет возраст 31.2 ± 3.2 тыс. л., что соответствует концу брянского интерстадиала (МИС 3), и, судя по возрасту нижележащих отложений, накапливался он с эрози-

онным размывом. Возможно, в это время произошла активизация притоков оз. Палео-Тобечика.

ВЫВОДЫ

1. Отложения южной части стратотипического разреза карангата Эльтиген изучены малакофаунистическим методом и методом оптически стимулированной люминесценции. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря. Люминесцентное датирование выполнено по протоколам OSL и pIRIR₂₉₀, по итогам которого было получено 17 датировок, характеризующих разные этапы развития территории. При датировании отложений были проведены все необходимые для проверки надежности результатов тесты. Итоговые даты по кварцу и полевым шпатам показали хорошую сходимость в пределах доверительных интервалов, что говорит о высокой надежности полученной хронологии. Результаты OSL-

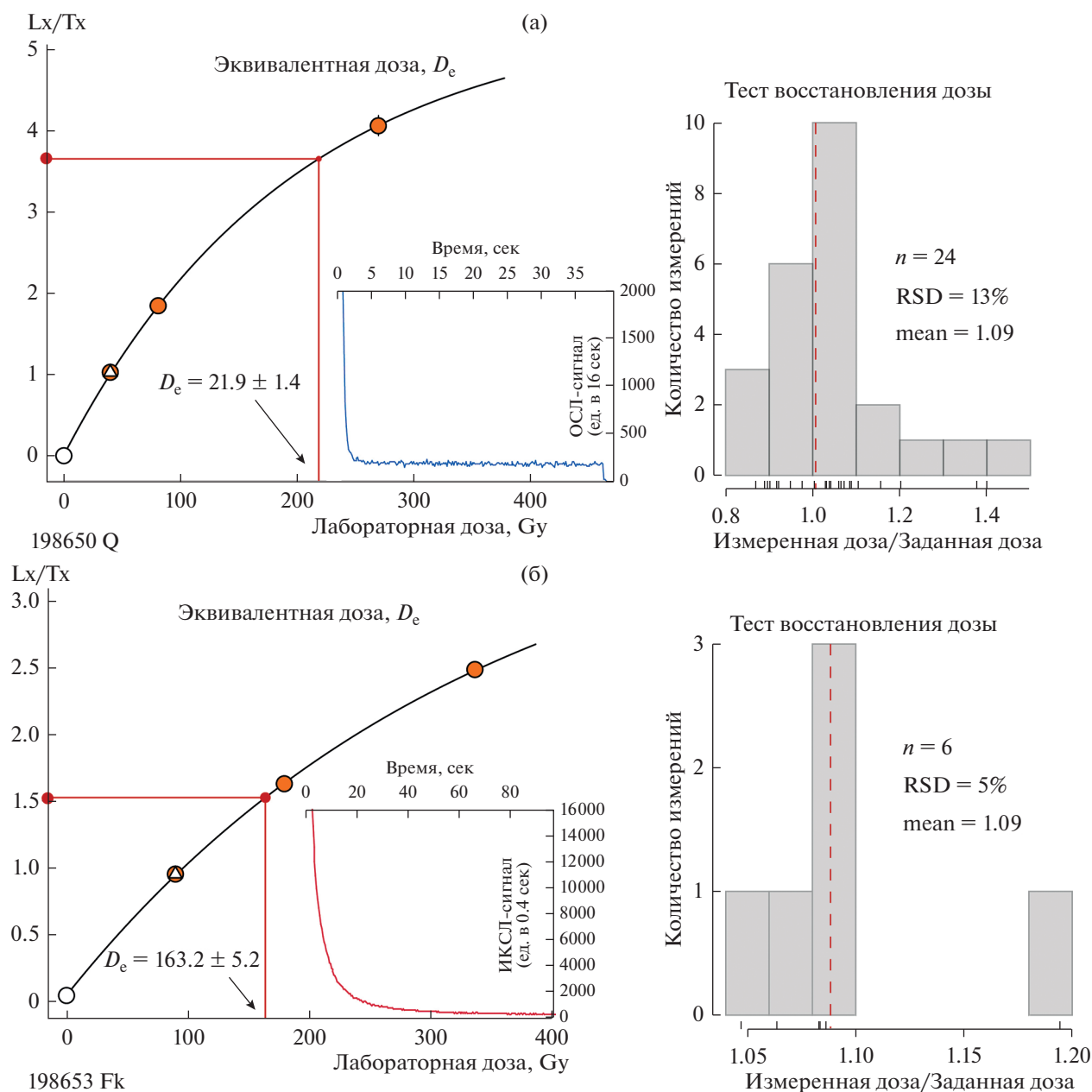


Рис. 5. Кривые насыщения и затухания люминесцентного сигнала (во врезке) с результатами теста восстановления дозы для кварца (а) и полевого шпата (б).

датирования показали, что осадконакопление карангатских отложений в южной части разреза Эльтиген происходило в конце МИС 6 и на протяжении МИС 5е-с.

2. На основе малакофаунистического анализа в толще морских отложений выделяется три цикла осадконакопления, разделенные эрозионными перерывами. Первый характеризуется обедненным комплексом эвригалинных моллюсков, его возраст по нижней границе доверительного интервала составил около 135–130 тыс. л.

(МИС 6–МИС 5е). Второй представлен большим разнообразием эвригалинных видов, в составе которого появляются умеренно стеногалинные виды, его возраст оценен интервалом 130–115 тыс. л. н. (МИС 5е). Третий цикл характеризуется комплексом, где доминируют умеренно стеногалинные виды, его возраст оценен в 115–95 тыс. л. (МИС 5d–с).

3. Анализ экологических предпочтений различных видов моллюсков в обнажении показал, что среда бассейна изменялась в сторону увеличе-

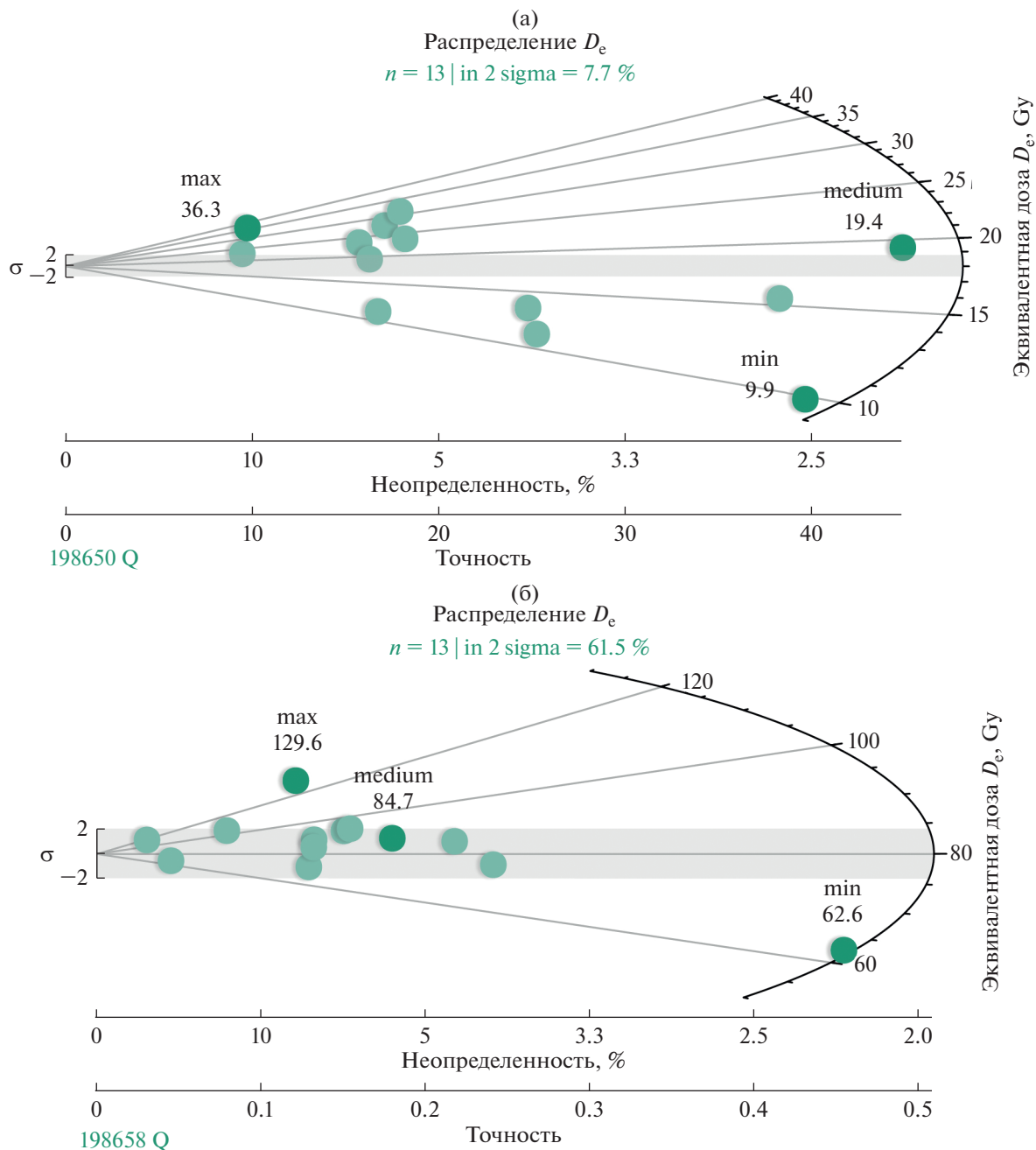


Рис. 6. Дисперсия результатов измерения эквивалентных доз образцов кварца из лессовых отложений (а) и из прибрежно-морских (б).

ния солености. Наибольшее видовое разнообразие с наличием умеренно стеногалинных видов наблюдается в самой верхней пачке смятых в седиментационные складки песчаных отложений возрастом около 110–95 тыс. л.

4. Накопление верхней субэвальной толщи началось не ранее 95 тыс. л. н. В разрезе выделяется наличие значительного перерыва осадконакопления в период между 95 и 35 тыс. л. н. Во время брянского интерстадиала (МИС 3) в прилега-

ющей к разрезу территории в районе 30 тыс. л. н. произошло увеличение водности притоков оз. Палео-Тобечик.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФ № 19-77-10077 (абсолютное датирование), работы Т.А. Яниной (фаунистический анализ) поддержаны проектом РФФ 21-44-04401,

Д.В. Семиколенных (фаунистический анализ и ОСЛ-датирование) — госзаданием ИГ РАН (0148-2019-0005).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность профессору Орхусского университета (Дания) доктору Э.Ш. Мюррею за помощь в интерпретации полученных результатов, главному научному сотруднику лаборатории гидрологии Института географии РАН д.г.н. А.Л. Чепалыге, инженеру-исследователю Лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена Н.А. Таратуниной.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation project no. 19-77-10077 (absolute dating), the work of T.A. Yanina (faunistic analysis) were supported by the Russian Science Foundation project no. 21-44-04401, D.V. Semikolennykh (faunistic analysis and OSL dating)—the state order of the IG RAS (0148-2019-0005).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to professor A.S. Murray (Aarhus University) for help with data interpretation, to doctor A.L. Chepalyga (IG RAS) and N.A. Taratunina (Moscow State University) for help in field work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андрусов Н.И. О возрасте морских послетретичных террас Керченского полуострова // Ежегодн. по геологии и минерал. России. 1904—1905. Т. 7. № 6. С. 158—172.
- Арсланов Х.А., Балабанов И.П., Гей Н.А. и др. О возрасте и климатических условиях формирования осадков позднеплейстоценовых морских террас побережья Керченского пролива // Вестн. ЛГУ. 1983. № 12. С. 69—79.
- Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Измайлов Я.А., Локшин Н.В., Муратов В.М., Островский А.Б., Тыртычный Н.И., Щеглов А.П. О возрасте голоценовых и верхнеплейстоценовых отложениях черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // Науч. Новости и Заметки. 1972. С. 107—110.
- Архангельский А.Д., Страхов Н.М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 226 с.
- Бадюкова Е.Н. Высокая карангатская лагунно-трансгрессивная терраса Керченского пролива // Геоморфология. 2009. № 3. С. 25—31.
- Благоволлин Н.С. Геоморфология Керченско-Таманской области. АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 189 с.
- Геология шельфа Украины. Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 186 с.
- Геохронология СССР. Л.: Недра, 1974. Т. 3. 357 с.
- Горецкий Г.И. О возрастных соотношениях осадков узунларской и карангатской трансгрессий // Бюлл. МОИП. Отд. Геолог. 1955. Т. 30. Вып. 2. С. 13—29.
- Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет (общая палеогеография). М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
- Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А.С., Семиколенных Д.В., Свистунов М.И., Штыркова Е.И. Возраст Карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 6. С. 29—39.
- Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Янина Т.А., Тюнин Н.А., Мюррей Э.С. Новые данные о возрасте карангатской трансгрессии Черного моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 6. С. 139—145.
- Курбанов Р.Н., Ульянов В.А., Анойкин А.А., Павленок Г.Д., Семиколенных Д.В., Харевич В.М., Таймагамбетов Ж.К., Мюррей Э.С. Первая люминесцентная хронология начального верхнего палеолита Восточного Казахстана (по материалам стоянки Ушбулак) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2021. № 5. С. 131—148.
- Люминесцентное датирование в палеогеографии. Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова / отв. ред. Т.А. Янина. М., 2020. С. 554—613.
- Невесская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: АН СССР, 1965. 392 с.
- Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 214 с.
- Свиточ А.А. Стратотипы карангата Таманского и Керченского полуостровов (сравнительный анализ) // ДАН. 2009. № 424. С. 669—671.
- Семененко В.Н., Ковалюх Н.Н. Абсолютный возраст верхнечетвертичных отложений Азово-Черноморского бассейна по данным радиоуглеродного анализа // Геол. журн. 1973. Т. 33. № 6. С. 91—97.
- Семиколенных Д.В., Курбанов Р.Н. По следам карангатской трансгрессии // Природа. 2020. № 11. С. 27—34.
- Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. М.: АН СССР, 1963. 164 с.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Шелкопляс В.Н., Христофорова Т.Ф. О строение морских четвертичных отложений Керченского региона // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2007. № 2. С. 120—126.
- Чепалыга А.Л. Новая концепция черноморских террас Юго-Восточного Крыма // Бюлл. комиссии по изуч. четвертичного периода. 2015. № 74. С. 90—104.
- Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: био-стратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: МГУ, 2012. 264 с.
- Янко В.В., Фролов В.Т., Мотненко И.В. Фораминиферы и литология стратотипического разреза карангатского горизонта (антропоген Керченского полуост-

- рова) // Бюлл. МОИП. Отд. Геологии. 1990. № 65. С. 83–97.
- Dodonov A.E., Tchepalyga A.L., Mihailescu C.D., Zhou L.P., Markova A.K., Trubikhin V.M., Simakova A.N., Konikov E.G. Last-interglacial records from central Asia to the northern Black Sea shoreline: Stratigraphy and correlation // *Geol. en Mijnbouw / Netherlands J. Geosci.* 2000. № 79. P. 303–311.
- Buylaert J.P., Murray A.S., Gebhardt A.C., Sohbat R., Ohlendorf C., Thiel C., Wastegard S., Zolitschka B. Luminescence dating of the RASAF0 core 5022-1D from Laguna Potrok Aike (Argentina) using IRSL signals from feldspar // *Quat. Sci. Rev.* 2013. № 7. P. 70–80.
- Lisiecki L.E., Stern J.V. Regional and global benthic $\delta^{18}O$ stacks for the last glacial cycle // *Paleoceanography*. 2016. № 31. P. 1–27.
- Murray A., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry // *J. Radioanalytical and Nuclear Chem.* 1987. Vol. 150. № 2. P. 263–288.
- Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability // *Radiation Measurements*. 2003. № 37. P. 377–381.
- Prescott J.R., Hutton J.T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations // *Radiation Measurements*. 1994. Vol. 23. № 2–3. P. 497–500.
- Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // *Quat. Int.* 2014. Vol. 345. P. 88–99.
- Wintle A.G., Murray A.S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols // *Radiat. Meas.* 2006. № 41. P. 369–391.
- Zubakov V.A. Climastratigraphic scheme of the Black Sea pleistocene and its correlation with the oxygen-isotope scale and glacial events // *Quat. Res.* 1988. № 29. P. 1–24.

Chronology of the Karangat Transgression of the Black Sea by Luminescence Dating

D. V. Semikolennykh^{1, 2, *}, R. N. Kurbanov², and T. A. Yanina²

¹*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Moscow State University, Moscow, Russia*

*e-mail: aristova@igras.ru

At the beginning of the Late Pleistocene within the modern Azov-Black Sea basin the Karangat transgression developed synchronously with the interglacial transgression of the world ocean. Based on the analysis of faunal complexes, the basin was characterized as the warmest and deepest basin of the Late Pleistocene with water salinity much higher than the salinity of the modern Black Sea. The most complete sequence of transgression sediments was found in the Eltigen section, located on the western coast of the Kerch Strait. The section has been examined several times. However, due to the large extent, facies variability of the section and the lack of geochronological data, there is still no consensus on how the deposits in the section correlate, to what number of phases of the Karangat transgression they correspond to, and what their age is. The aim of this work is to obtain the chronology of sedimentation of the southern (Tobechik) part of the Eltigen stratotype section, which is considered by most researchers to be the deposits of the first phase of the Karangat transgression. Seventeen luminescence dates were obtained for quartz (OSL) and feldspar (pIRIR₂₉₀): nine from lagoon-marine and coastal-marine deposits and eight from the overlying loess-soil layer. Biostratigraphic analysis of the malacofauna confirmed the belonging of the marine deposits of the Karangat transgression of the Black Sea discovered in the section. The results of OSL dating showed that in the southern part of the Eltigen section, three cycles of lagoon-coastal-marine sedimentation are distinguished in the intervals of 135–130 ka years ago (MIS 6–MIS5e), 130–115 ka years ago (MIS 5e) and 115–95 ka years ago (MIS 5d-c). The accumulation of the upper subaerial strata began no earlier than 95 ka years ago.

Keywords: Kerch Strait, Eltigen, Lake Tobechik, Late Pleistocene, Karangatian transgression, OSL dating, malacofauna, Mikulin interglacial

REFERENCES

- Andrusov N.I. On the age of the marine post-Tertiary terraces of the Kerch Peninsula. *Ezhegodnik po Geologii i Mineral. Rossii*, 1904–1905, vol. 7, no. 6, pp. 158–172. (In Russ.).
- Arkhangel'skii A.D., Strakhov N.M. *Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya Chernogo morya* [Geological Structure and History of Evolution of the Black Sea]. Moscow–Leningrad: Akad. Nauk SSSR Publ., 1938. 226 p.
- Arslanov Kh.A., Gai N.A., Izmailov Ya.A., Lokshin N.V., Gerasimova S.A., Tertychnyi N.I. On the age and climatic conditions of sediments formation on the Late Pleistocene marine terraces of the Kerch Strait coast. *Vestn. LGU*, 1983, no. 12, pp. 69–79. (In Russ.).
- Arslanov Kh.A., Gerasimova S.A., Izmailov Ya.A., Lokshin N.V., Muratov V.M., Ostrovskii A.B., Tertychnyi N.I., Scheglov A.P. On the age of the Holocene and Upper Pleistocene deposits of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region. *Nauchnie Novosti i Zametki*, 1972, pp. 107–110. (In Russ.).

- Badyukova E.N. High karangat lagoon-transgressive terrace of Kerch channel. *Geomorfologiya*, 2009, no. 3, pp. 25–31. (In Russ.).
- Blagovolin N.S. *Geomorfologiya Kerchensko-Tamanskoi oblasti* [Geomorphology of the Kerch-Taman Region]. Moscow: Akad. Nauk SSSR Publ., 1962. 201 p.
- Buylaert J.P., Murray A.S., Gebhardt A.C., Sohbati R., Ohlendorf C., Thiel C., Wastegard S., Zolitschka B. Luminescence dating of the RASAFO core 5022-1D from Laguna Potrok Aike (Argentina) using IRSL signals from feldspar. *Quat. Sci. Rev.*, 2013, no. 7, pp. 70–80.
- Chepalyga A.L. The new concept of the Black Sea terraces of the South-East Crimea. In *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period]. Moscow: GEOS, 2015, no. 74, pp. 90–104.
- Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennikh morskikh basseinov Severnoi Evrazii za poslednie 130000 let [Dynamics of Landscape Components and Inland Marine Basins of Northern Eurasia over Recent 130000 Years]. Moscow: GEOS, 2002. 232 p.
- Dodonov A.E., Tchepalyga A.L., Mihailescu C.D., Zhou L.P., Markova A.K., Trubikhin V.M., Simakova A.N., Konikov E.G. Last-interglacial records from central Asia to the northern Black Sea shoreline: Stratigraphy and correlation. *Geol. en Mijnbouw/Netherlands J. Geosci.*, 2000, no. 79, pp. 303–311.
- Fedorov P.V. *Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoi istorii Chernogo morya* [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Crimean-Caucasian Coast and Some Questions of the Geological History of the Black Sea]. *Tr. GIN AN SSSR*. Moscow: Nauka Publ., 1963. 157 p. Fedorov P.V. Pleistocen Ponto-Kaspiya [The Ponto-Caspian Pleistocene]. Moscow: Nauka Publ., 1978. 165 p.
- Fedorov P.V. *Pleistocen Ponto-Kaspiya* [The Ponto-Caspian Pleistocene]. Moscow: Nauka Publ., 1978. 165 p.
- Geologiya shelfa Ukrainy. Kerchenskii proliv* [Geology of the Ukrainian shelf. The Kerch Strait]. Kiev: Naukova dumka, 1981. 186 p.
- Geokhronologiya SSSR* [Geochronology of the USSR]. Vol. 3. Leningrad: Nedra Publ., 1974. 357 p.
- Goretsky G.I. On the age ratios of precipitation of the Uzunliarian and Karangatian Transgressions. *Bull. MOIP. Otd. Geolog*, 1995, vol. 30, no. 2, pp. 13–29. (In Russ.). *Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennikh morskikh basseinov Severnoi Evrazii za poslednie 130 000 let*.
- Kurbanov R.N., Yanina T.A., Murray A.S., Semikolennykh D.V., Svistunov M.I., Shtyrkova E.I. The age of the Karangatian (Late Pleistocene) transgression of the Black Sea. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2019, no. 6, pp. 29–39. (In Russ.).
- Kurbanov R.N., Semikolennykh D.V., Yanina T.A., Tyunin N.A., Murray A.S. New data on the age of the karangatian transgression of the Black Sea. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 6, pp. 139–145. (In Russ.).
- Kurbanov R.N., Ulyanov V.A., Anoykin A.A., Pavlenok G.D., Semikolennykh D.V., Kharevich V.M., Taimagambetov Zh.K., Murray A.S. The first luminescent chronology of the initial Upper Paleolithic of East Kazakhstan (based on materials from the Ushbulak site). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 5, pp. 131–148. (In Russ.).
- Lisiecki L.E., Stern J.V. Regional and global benthic $\delta^{18}O$ stacks for the last glacial cycle. *Paleoceanography*, 2016, no. 31, pp. 1–27.
- Luminescence Dating in Paleogeography. *Actual Problems of the Pleistocene Paleogeography. scientific achievements of the school of academician K.K. Markov*. Yanina T.A., Ed. Moscow, 2020, pp. 554–613. (In Russ.).
- Nevesskaya L.A. *Pozdnechetvertichnye dvustvorchatye molyluski Chernogo morya, ikh sistematika i ekologiya* [Late Quaternary Bivalves of the Black Sea, Their Systematics and Ecology]. *Tr. Paleontol. Inst. Akad. Nauk SSSR*. Moscow: Nauka Publ., 1965. 392 p.
- Murray A., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry. *J. Radioanal. Nucl. Ch.*, 1987, vol. 150, no. 2, pp. 263–288.
- Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability. *Radiat. Meas.*, 2003, no. 37, pp. 377–381.
- Popov G.I. *Pleistotsen Chernomorsko-Kaspiiskikh proliov* [Pleistocene of the Black Sea and Caspian Sea Straits]. Moscow: Nauka Publ., 1983. 216 p.
- Prescott J.R., Hutton J.T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiat. Meas.*, 1994, vol. 23, no. 2–3, pp. 497–500.
- Svitoch A.A. Karangatian stratotypes of the Taman and Kerch Peninsulas (comparative analysis). *Dokl. Akad. Nauk*, 2009, no. 424, pp. 669–671. (In Russ.).
- Semenenko V.N., Kovaluykh N.N. Absolute age of the Upper Quaternary deposits of the Azov-Black Sea basin according to the data of radiocarbon analysis. *Geol. Zh.*, 1973, vol. 33, no. 6, pp. 91–97. (In Russ.).
- Semikolennykh D.V., Kurbanov R.N. Tracing the Karangatian Sea. *Priroda*. 2020, vol. 11, pp. 27–34. (In Russ.).
- Shelkoplyas V.N., Khristoforova, T.F. On the structure of marine Quaternary deposits of the Kerch region. *Geologiya i Poleznye Iskopaemye Mirovogo Okeana*, 2007, no. 2, pp. 120–126. (In Russ.).
- Wintle A.G., Murray A.S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiat. Meas.*, 2006, no. 41, pp. 369–391.
- Yanina T.A. *Neopleistotsen Ponto-Kaspiya: biostratigrafiya, paleogeografiya, korrelyatsiya* [Neo-Pleistocene of the Ponto-Caspian Region: Biostratigraphy, Paleogeography, Correlation]. Moscow: MGU, 2012. 264 p.
- Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene. *Quat. Int.*, 2014, vol. 345, pp. 88–99.
- Yanko V.V., Frolov V.T., Motnenko I.V. Foraminifera and lithology of the stratotype section of the Karangatian layer (the Quaternary of the Kerch Peninsula). *Bull. MOIP. Otd. Geologii*, 1990, no. 65, pp. 83–97. (In Russ.).
- Zubakov, V.A. Climastratigraphic scheme of the Black Sea pleistocene and its correlation with the oxygen-isotope scale and glacial events. *Quat. Res.*, 1988, no. 29, pp. 1–24.