

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.79

Р.Н. Курбанов¹, Т.А. Янина², Э.С. Мюррей³, Д.В. Семиколенных⁴, М.И. Свистунов⁵, Е.И. Штыркова⁶

ВОЗРАСТ КАРАНГАТСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ (ПОЗДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН) ЧЕРНОГО МОРЯ

Карангатская трансгрессия – значительная вежа в плейстоценовой истории Черного моря, крупная межледниковая трансгрессия с уровнем, превышающим современный на 6–7 м и с максимальной в плейстоцене соленостью. В хронометрической оценке возраста этого события единства среди исследователей в настоящее время нет. В работе представлены результаты датирования методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) карангатских отложений, вскрытых в стратотипическом разрезе Эльтиген на западном берегу Керченского пролива. Разрез является благоприятным объектом для изучения ОСЛ методом, так как слагающие его отложения в генетическом отношении представлены преимущественно оловым (лессовидные субаэральные осадки) и прибрежно-морским материалом, характеризующимся полной засветкой зерен кварца и полевого шпата. Датирование выполнено параллельно как по кварцу, так и по полевоому шпату, хронология получена по трем протоколам (ОСЛ, IR₅₀, pIRIR₂₉₀) для каждого образца, что позволяет считать полученные даты надежными. Получены 8 датировок, шесть из них характеризуют морской этап развития территории, две – континентальный. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря. В разрезе отражены две фазы развития карангатской трансгрессии. Ранняя развивалась в интервале 131–120 тыс. лет назад (МИС 5e). Уровень моря поднимался со скоростью около 32 см/тыс. лет; достиг +3,6 м абс. выс. Поздняя фаза трансгрессии протекала в период 120–100 тыс. лет назад (МИС 5d-c). Подъем уровня моря происходил со скоростью 12,5 см/тыс. лет. Максимальных значений ~6,45 м достиг 105–100 тыс. лет (МИС 5c). Учет масштаба неотектонических движений позволит более точно определить максимальную отметку уровня моря. Карангатский бассейн на протяжении его развития характеризовался неоднородными условиями среды: от умеренно соленых (15–17‰) на начальных этапах, до соленых (28–30‰) по мере развития трансгрессии, и вновь до умеренно соленых (17–18‰) при начавшемся снижении уровня. Субаэральная стадия осадконакопления на побережье началась не позднее 72±8 тыс. лет назад. Нижняя из вскрытых разрезом погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет, очевидно, в эпоху межстадиального потепления внутри валдайской ледниковой эпохи (МИС 4).

Ключевые слова: Керченский полуостров, разрез Эльтиген, фазы трансгрессии, ОСЛ датирование, палеогеографические реконструкции

Введение. Карангатская трансгрессия – значительная вежа в плейстоценовой истории Черного моря, крупная межледниковая трансгрессия с уровнем, превышающим современный на 6–7 м и с максимальной в плейстоцене соленостью. Ее отложения распространены широко, поэтому палеогеография этого бассейна достаточно полно изучена [Андрусов, 1903, 1904; Архангельский, Страхов, 1938; Невеская, 1965; Федоров, 1963, 1978; Островский с соавт., 1977; Чепалыга, 1997; Чепалыга с соавт., 1989; Попов, 1983; Геология шельфа ..., 1981;

Зубаков с соавт., 1982; Зубаков, 1986, 1987; История геологического развития ..., 1988; Янко, 1989; Янко и др., 1990; Маркова, Михайлеску, 1990; Невеская, Измайлов, 1995; Свиточ с соавт., 1998, 2001; Свиточ, 2009; Динамика ландшафтных ..., 2002; Dodonov et al., 2000; Сорокин, 2011; Янина, 2012; Yanina, 2014 и др.].

Карангатская трансгрессия была двухфазной. В раннюю фазу ее развития – тобечикскую [Невеская, 1965] – в области Черного моря распространились виды, свойственные для него и в наши дни

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: roger.kurbanov@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор; лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, зав. лабораторией, докт. геогр. н.; e-mail: paleo@inbox.ru

³ Орхусский университет, Дания, отдел геонаук, Северная Люминесцентная лаборатория, профессор; e-mail: andrew.murray@geo.au.dk

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, студент; e-mail: Dasha.Semikolennykh@gmail.com

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра оптики и спектроскопии, студент; e-mail: svistunovmihail@rambler.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; e-mail: lenobl1996@gmail.com

(*Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata*, *Paphia* и др.). Поскольку осадки этой трансгрессивной фазы в основном вскрыты бурением и очень редко встречаются в области современной суши, авторы предполагают отрицательные или близкие современным отметки уровня карангатского бассейна в тобечикскую фазу его развития. Палеомагнитные исследования выявили в данных слоях аномальный эпизод Блейк [Dodonov et al., 2000]. Отмечаются находки млекопитающих шкурлатовского комплекса [Динамика ландшафтных ..., 2002].

Вторая фаза трансгрессии характеризуется обогащением ее малакофаунистического состава более соленолобными видами. В максимум трансгрессии наряду с формами, ныне живущими в Черном море, распространились стеногалинные виды, которые в настоящее время не наблюдаются – *Cardium tuberculatum*, *Dosinia lupinus*, *D. exoleta*, *Ensis ensis*, *Barbatia barbata* и др. Наличие данных видов свидетельствует о солености около 30‰ в открытой части карангатского бассейна. Высокая соленость была характерна не только для открытой части моря, но и для южной части Азовского моря, Манычского пролива и Донского лимана [Невеская, 1965]. Карангатская трансгрессия отличалась также тепловодностью, о чем свидетельствует не только таксономический состав малакофауны, но и тепловодные субтропические виды диатомей [Жузе и др., 1980]. Спорово-пыльцевые спектры также указывают на значительное потепление [Коренева, 1982; Вронский, 1976].

Границы моря превышали границы современного Азово-Черноморского бассейна, оно проникало на десятки километров вверх по долинам равнинных рек, залив карангатского моря распространялся на восток до водораздела Восточного и Западного Манычей [Попов, 1983; Янина, 2012; Курбанов и др., 2018]. В нем обитали *Cerastoderma glaucum*, *Paphia senescens*, *Ostrea edulis*, *Loripes lacteus*.

В отношении возраста карангатской трансгрессии (карангатских отложений) существуют различные мнения. Преобладает точка зрения, ведущая начало от трудов Н.И. Андрусова [1904], согласно которой карангатские отложения синхронны тирренским в Средиземном море и относятся к рисс-вюрмскому (земскому, микулинскому) межледниковью, сопоставляемому ныне либо с МИС (морская изотопная стадия) 5e (*Eemiam sensu stricto*, 128–115 тыс. лет назад), либо со всей МИС 5 (*Eemiam sensu lato*, 128–74 тыс. лет назад). Предпринимались неоднократные попытки получения «абсолютного» возраста этой трансгрессии. Большинство полученных торий-урановым методом датировок находится во временном промежутке 129–70 тыс. лет [Арсланов и др., 1975, 1983; Арсланов, 1987; Несмеянов, Измайлов, 1995]. В стратотипическом разрезе (мыс Карангат) карангатские осадки его средней части имеют возраст 80–95 тыс. лет [Несмеянов, Измайлов, 1995]. В лектостратотипе карангата – разрезе Эльтиген (западный берег Кер-

ченского пролива) серия торий-урановых датировок показала возраст максимальной стадии трансгрессии в 140–70 тыс. лет [Арсланов и др., 1975, 1983; Чепалыга, 1997; Динамика ..., 2002]. Однако датировки, полученные по внешней и внутренней фракциям одних и тех же раковин моллюсков, разнятся в значениях до 20 тыс. лет [Никонов и др., 1999]; часто наблюдаются инверсии дат. Встречается довольно большое количество датировок, характеризующих слои с теплолюбивой фауной в интервале 70–35 тыс. лет [Арсланов и др., 1983; Никонов и др., 1999]. Следовательно, уран-ториевые даты нельзя считать устойчивыми.

Серия «молодых» датировок была получена радиоуглеродным методом, что заведомо нельзя принимать во внимание из-за возрастных ограничений метода. ЭПР (электронно-парамагнитный резонанс) методом на северо-восточном берегу Чокракского озера для отложений первой половины трансгрессии получена датировка 121±11 тыс. лет, для второй – 90–70 тыс. лет [Никонов и др., 1999]. Термолюминесцентным методом получены даты около 300 тыс. лет назад, которые их авторы считают валидными [Зубаков и др., 1987]. Таким образом, единства в хронометрической оценке возраста карангатских отложений в настоящее время нет. Задача получения обоснованной хронологии развития карангатской трансгрессии остается актуальной. Ее решение имеет большое значение для понимания причин этого события, его связи с глобальным подъемом уровня Мирового океана, развитием Босфорского пролива и глубокого ингрессионного залива в западной части Манычской депрессии.

Нами выполнено датирование методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) карангатских отложений Черного моря, вскрытых в стратотипическом разрезе Эльтиген на восточном побережье Керченского полуострова (западном берегу Керченского пролива) (рис. 1). ОСЛ датирование этих отложений выполнено впервые. Его результаты позволяют внести ясность в оценку возраста ключевого события плейстоценовой истории Черного моря.

Материал и методика исследований. Разрез Эльтиген – один из самых представительных разрезов морского карангата в Черноморской области. Он находится к северу от основания пересыпи, отделяющей Тобечикское озеро от моря, и вскрывает толщу (около 15 м) прибрежно-морских отложений, залегающих на размытой поверхности сарматских глин. На протяжении нескольких километров вдоль берега пролива в разрезе карангатские отложения представляют собой сложно построенные прибрежно-морские, в основном песчано-ракушечные образования, включающие многочисленные раковины моллюсков. Перекрываются они субэвральная лёссовидной толщей, с двумя слабо выраженными почвенными горизонтами. Разрез неоднократно изучался [Андрусов, 1904; Федоров, 1963, 1978; Невеская, 1965; Попов, 1983; Динамика ..., 2002; Dodonov et al., 2000; Свиточ, 2009]; П.В. Федоровым [1963]

он предложен в качестве стратотипа для карангатских отложений.

Нами выполнено фациально-литологическое описание разреза, проведено изучение вскрытых осадков малакофаунистическим и геохронологическим методами. Анализ малакофауны (изучение тафономических особенностей раковинного материала, его систематический и статистический анализ) выполнен с целью биостратиграфического обоснования геологического возраста осадков и понимания палеоэкологических условий их накопления.

Абсолютная хронология получена методом ОСЛ. Люминесцентное датирование нашло в последнее время широкое применение в практике геохронологических исследований четвертичных отложений, методика датирования обоснована в большом количестве работ [Aitken, 1985]. Датирование разновозрастных отложений разреза Эльтиген выполнено в Северной люминесцентной лаборатории Орхусского университета. Отбор образцов выполнялся по стандартной методике в светонепроницаемые пакеты, отдельно отбирался материал для гамма-спектрометрического анализа. Предварительная подготовка проб проводилась в НИ лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена по принятому в Орхусском университете протоколу. Образцы из карангатских отложений представлены в основном песками различной зернистости и сортированности; из перекрывающего их лёссовидного покрова – суглинками и супесями в разной степени опесчаненными. Методом влажного ситования получена фракция зерен размерностью 180–250 микрон. После последовательной обработки раствором перекиси водорода, соляной и плавиковой кислот, выполнено разделение кварца и калиевых полевых шпатов сепарационным методом при помощи тяжелой жидкости (поливольфрамат натрия).

Люминесцентное датирование выполнялось по новейшей методике, которая включает в себя получение хронологии по трем протоколам на основе принципа регенерации единичных аликвот [Murray, Wintle, 2003]. По кварцу (Q) измерение люминесценции проводилось для 18–24 аликвот в результате стимуляции голубым светом при 125°C, с предварительным нагревом до 260°C [Murray, Wintle, 2003]. Для полевых шпатов стимуляция производилась инфракрасным источником, получены измерения по двум протоколам для 50°C (IR_{50}) и 290°C ($pIRIR_{290}$) [Thiel et al., 2011]. Ввиду высокой стабильности люминесцентного сигнала в полевых шпатах измерения выполнялись для 6–12 навесок. Все измерения выполнялись на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Riso (модель DA-20). Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника – изотопа стронция-90. Определение скорости накопления дозы (активности радионуклидов) в образцах выполнено на высокоточном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе особо чистого германия по методике A.S. Murray et al. [1987].



Рис. 1. Керченский пролив. Местоположение разреза Эльтиген

Fig. 1. The Kerch Strait. Location of the Eltigen section

Получение для каждого образца трех датировок по двум различным минералам позволяет выявить результаты с явным удревнением [Murray et al., 2012]. Как известно, возможная неполная засветка зерен ведет к сохранению в образце энергии, накопленной в предыдущий цикл осадконакопления, и, таким образом, удревнению получаемого в результате датирования возраста. Это явление – один из недостатков люминесцентного датирования и зачастую приводит к появлению инверсий. В последнее время был предложен путь выявления таких удревненных датировок путем параллельного датирования по кварцу и полевому шпату. В связи с тем, что в полевых шпатах может быть накоплена энергия (около 1500 Грей), на порядок превышающая емкость кристаллической решетки кварца (150–200 Грей), в ходе геологического транспорта требуется значительно больше времени для полного обнуления [Murray et al., 2012]. Протокол измерений при 290°C позволяет измерить наиболее стабильный для полевых шпатов сигнал, требующий, однако, значительного времени для обнуления (более суток). Однако сигнал $pIRIR_{290}$ не подвержен явлению аномального угасания сигнала в полевых шпатах, который может существенно омолаживать возраст [Buylaert et al., 2012]. Результаты многочисленных измерений показали, что датировка, полученная по $pIRIR_{290}$, не подвержена явлению аномального затухания сигнала и является наиболее надежной, при учете возможного сохранения палеодозы в результате неполной засветки. В то же время измерения при 50°C регистрируют электроны из самых нестабильных ловушек, которые в результате воздействия света высвобождаются быстрее всего (за первые секунды); при этом отмечаются максимально высокие значения аномального затухания сигнала [Thomsen et al., 2008].

Таким образом, датирование по трем протоколам позволяет выполнить сравнение результатов и

осуществить градуацию итоговых результатов по степени надежности. Доказано [Murray et al, 2012], что наиболее надежными определениями абсолютного возраста методом ОСЛ являются результаты с соотношением датировок $Q/pIRIR_{290}$ в диапазоне 0,9–1,2, а также Q/IR_{50} для значений 0,5–0,7. Несмотря на то, что образцы из прибрежно-морских и лесовидных отложений считаются наиболее подходящими для ОСЛ датирования, нами выполнено более длительное и трудозатратное исследование по кварцу и полевым шпатам ввиду значимости стратотипического разреза карангат для раскрытия особенностей истории развития Черного моря.

Результаты исследований и их обсуждение.

В разрезе Эльтиген (рис. 2) в основании (слой 1) вскрываются сизые глины видимой мощностью около 1,5 м; их кровля находится на глубине 12 м. Выше

с резкой эрозионной границей в интервале 12,0–10,8 м, залегают светлые, коричнево-бурые пески с горизонтальной и косой слоистостью (слой 2), уплотненные, с обильным включением гальки и раковин моллюсков. Над ними, до глубины 8,8 м, вскрываются менее плотные пески с преимущественно косой слоистостью и обильными включениями раковин моллюсков (слой 3). В интервале 8,8–5,7 м (слой 4) наблюдаются светло-коричневые плохосортированные пески с обильными включениями фаунистического материала, имеющими упорядоченный характер – выделяются отдельные слои с разной степенью насыщенности раковинами моллюсков. Слой 5 в интервале 5,7–5,2 м представлен косослоистыми палевыми песками с включением детрита раковин моллюсков. Выше в разрезе вскрываются (слой 6) лёссовидные суглинки с двумя-тремя слабо выра-

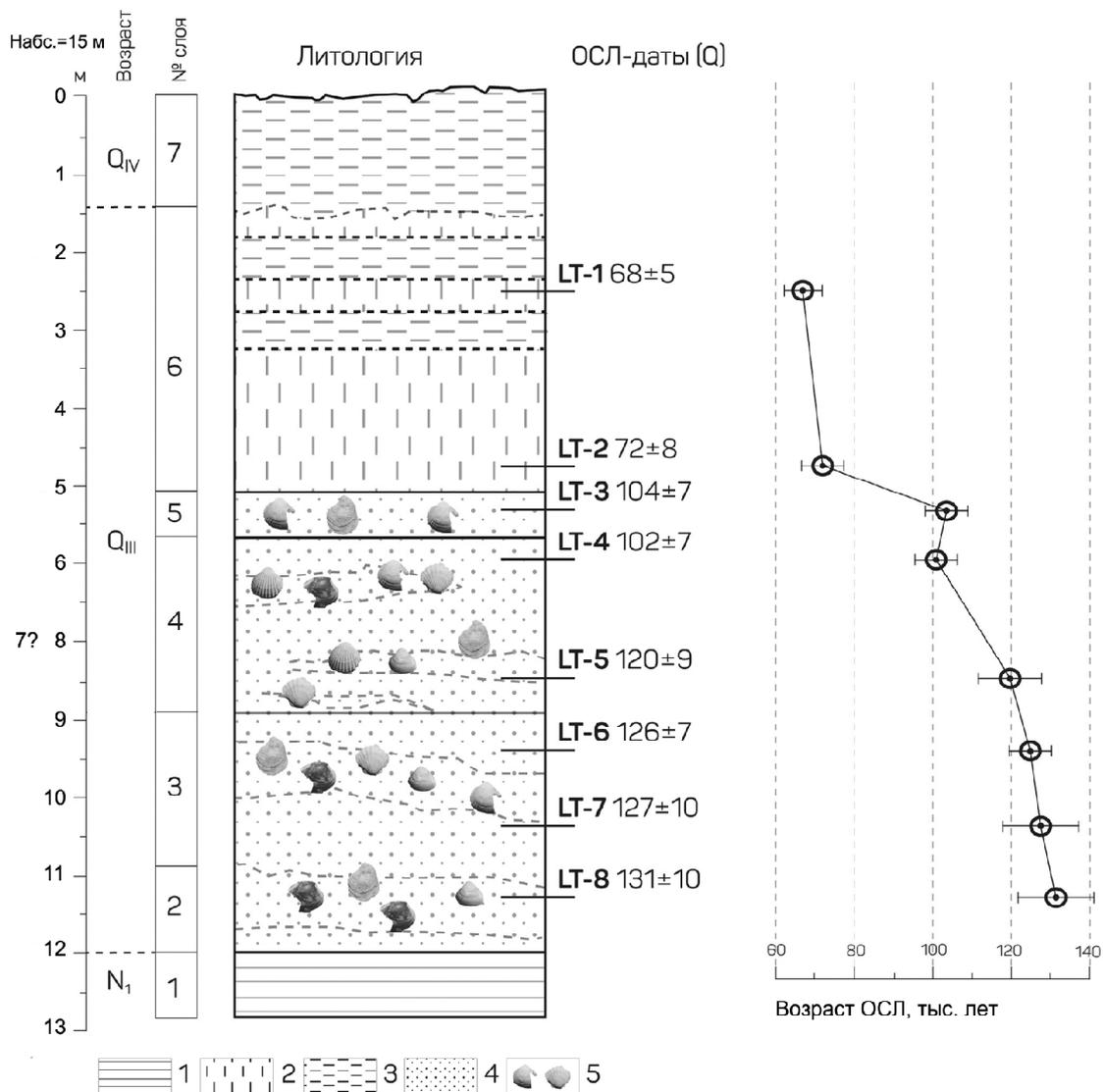


Рис. 2. Строение разреза Эльтиген и результаты ОСЛ датирования; 1 – глина, 2 – суглинок, 3 – супесь, 4 – песок, 5 – раковинный материал

Fig. 2. Structure of the Eltigen section and results of the OSL-dating; 1 – clay, 2 – loam, 3 – sandy loam, 4 – sand, 5 – shell material

женными палеопочвенными горизонтами. С глубины 1,4 м по ним развита (слой 7) современная почва.

Результаты малакофаунистического анализа отложений представлены в таблице 1.

Состав фаунистических группировок, включающий как эвригалинных, так и стеногалинных представителей средиземноморской фауны, свидетельствует о карангатском возрасте отложений. Анализ экологических предпочтений видов (рис. 3) указывает на значительное содержание стеногалинных и умеренно стеногалинных видов в нижней и средней части карангатской толщи и присутствие самого соленолобивого вида (соленость около 30‰) *Cardium tuberculatum* в интервале 7,70–7,75 м. В верхней части толщи наблюдается переход состава фаунистического сообщества от преимущественно стеногалинного к эвригалинному и умеренно эвригалинному.

Такой состав фауны свидетельствует о неоднородности условий среды в бассейне на протяжении его развития. На начальных этапах осадконакопления бассейн был умеренно соленым (15–17‰). По мере развития трансгрессии его соленость повысилась до 28–30‰. Накопление осадков верхней части карангатской толщи происходило в условиях некоторого опреснения моря (до 17–18‰) – очевидно,

его обмеления, вплоть до полного исчезновения из этого района и усиления опресняющего влияния озера-реки Тобечик.

Для определения абсолютного возраста карангатской трансгрессии методом люминесцентного датирования в разрезе была отобрана серия из восьми образцов: шесть из прибрежно-морских отложений (ЛТ 3–8) и два из вышележащей лёссово-почвенной толщи. Для всех образцов измерения выполнялись по трем протоколам.

Люминесцентный сигнал по кварцу измерялся для 24 навесок. Результаты измерений (табл. 2) показали доминирование быстрого компонента во всех образцах. Кривая насыщения строилась по пяти точкам в результате облучения бета-источником фиксированной дозой: 75, 150, 200, 0, 75 Грей для образцов из лёссово-почвенной толщи и 25, 75, 125 Грей для остальных. Дозы по кварцу оказались в пределах 165 Грей. Для полевых шпатов выполнялись измерения для 6–12 навесок (в зависимости от объема полученных зерен) по протоколу, включающему в себя регистрацию люминесцентного отклика при нагреве 50°C (IR₅₀) и 290°C (pIRIR₂₉₀). Построение кривой насыщения выполнялось по пяти точкам: 100, 200, 300, 0, 100 Грей.

Для верхних двух образцов дозы оказались значительными (130–163 Грей), при этом в образце

Таблица 1

Малакофаунистический состав отложений разреза Эльтиген*

Интервал, м	Малакофаунистический состав
6,10–6,20	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
6,50–6,55	<i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Solen vagina</i> , <i>Ostrea edulis</i>
6,70–6,90	<i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i>
7,00–7,20	Детрит, <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Ostrea edulis</i>
7,20–7,40	Детрит, обломки <i>Abra ovata</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
7,30–7,60	<i>Chione gallina</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
7,70–7,75	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Cardium tuberculatum</i> , <i>Solen vagina</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
8,00–8,10	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Paphia rugata</i>
8,20–8,25	Детрит, обломки <i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Paphia discrepans</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
9,00–9,10	<i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i>
9,30–9,35	<i>Chlamys glabra</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i>
9,50–9,55	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>
9,80–9,85	<i>Solen vagina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i>
10,00–10,10	<i>Chlamys glabra</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
11,20–11,25	<i>Chlamys glabra</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Chione gallina</i>
11,40–11,45	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Paphia rugata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>
11,70–11,75	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>

* Полу жирным начертанием выделены преобладающие виды.

Интервал, м	Эвригалинные						12–16	17–18	>13	17–18	>28
	<i>Cerastoderma glaucum</i>	<i>Chione gallina</i>	<i>Paphia discrepans</i>	<i>Solen vagina</i>	<i>Abra ovata</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	%	%	%	%	%
6,10–6,20											
6,50–6,55											
6,70–6,90											
7,00–7,20											
7,20–7,40											
7,30–7,60											
7,70–7,75											
8,00–8,10											
8,20–8,25											
9,00–9,10											
9,30–9,35											
9,50–9,55											
9,80–9,85											
10,00–10,10											
11,20–11,25											
11,40–11,45											
11,70–11,75											

Рис. 3. Экологический состав карангатской малакофауны разреза Эльтиген*
* Оттенками серого показано относительное количество раковин вида в слое

Fig. 3. Ecological composition of the Karangat malacofauna of the Eltigen section*
* Shades of grey indicate relative amount of shells of a certain species in a layer

№ 170832 из 24 аликвот 4 оказались в состоянии максимального насыщения, что указывает на возможное омоложение итоговой датировки в 72 тыс. лет, а также относительно высокий доверительный интервал в 8 тыс. лет. При этом верхняя датировка по кварцу оказалась весьма надежной (68 ± 5 тыс. лет) и в значительной степени совпала с датой по полевым шпатам (70 ± 6 тыс. лет) с учетом доверительных интервалов. Таким образом, соотношение $pIRIR/Q$ оказалось равным $1 \pm 0,1$, что указывает на достаточную длительность засветки материала до момента осадконакопления, что в целом характерно для лёссово-почвенных серий. Близкие к единице соотношения датировок по кварцу и полевым шпатам были получены и для остальных образцов. При этом отмечается высокая стабильность сигнала (отбраковано не более 2–3 аликвот ввиду аномального сигнала, либо признаков нарушения SAR протокола). Расположение доверительных интервалов измерения накопленной дозы в пределах 10% и результаты стандартных тестов (восстановление дозы 1,02–1,05), в совокупности со сходимостью результатов по кварцу и полевым шпатам, указывают на высокую надежность полученной хронологии. В данном разрезе для анализа возраста отложений

по причине высокой сходимости могут быть использованы обе хронологии – как по кварцу, так и по протоколу $pIRIR_{290}$, однако в практике люминесцентного датирования принято считать приоритетными результаты по кварцу.

Скорость накопления дозы рассчитана по результатам измерения активности образцов на гамма-спектрометре (табл. 2). Для образцов № 170831–32 отмечаются характерные для лёссовидных отложений высокие содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K со средними значениями около 2 Грей/тыс. лет для кварца и 3 Грей/тыс. лет для полевых шпатов. Показатели активности для прибрежно-морских песков оказались закономерно низкими (меньше 1 Грей/тыс. лет для кварца и около 2 Грей/тыс. лет для полевых шпатов) ввиду хорошей сортированности материала, а также большого содержания карбоната кальция в виде раковин моллюсков и оолитовых зерен (что ведет к значительному снижению содержания радиоактивных нуклидов) [Murray et al, 1987].

Оценка уровня водонасыщения имеет важное значение для расчета итоговых датировок. Так, увеличение водонасыщения на 1% ведет к удревнению возраста на 1%. Для изученных в разрезе отложений оценка этого показателя производилась на ос-

Таблица 2

Результаты гамма-спектрометрического анализа. Содержание радиоактивных элементов в образце и скорость накопления дозы для кварца и полевых шпатов

№	Лабораторный номер	Глубина, см	Слой в разрезе	Водонасыщение, %	²²⁶ Ra, Бк/кг ⁻¹			²³² Th, Бк/кг ⁻¹			⁴⁰ K, Бк/кг ⁻¹			Скорость накопления дозы					
														Кварц, Грей в тыс. лет			Полевые шпаты, Грей в тыс. лет		
1	170 831	400	Лёсс	10	29	±	1,1	30	±	0,9	355	±	15	1,99	±	0,09	2,93	±	0,11
2	170 832	480	Лёсс	10	33	±	0,6	35	±	0,7	406	±	11	2,26	±	0,10	3,20	±	0,12
3	170 833	570	Карангат	5	17	±	0,2	15	±	0,2	98	±	2	0,92	±	0,04	1,85	±	0,08
4	170 834	650	Карангат	5	15	±	0,3	9	±	0,3	103	±	5	0,79	±	0,04	1,72	±	0,07
5	170 835	820	Карангат	5	15	±	0,5	6	±	0,5	72	±	6	0,64	±	0,03	1,58	±	0,07
6	170 836	920	Карангат	5	12	±	0,2	7	±	0,1	84	±	1	0,63	±	0,03	1,57	±	0,07
7	170 837	1080	Карангат	5	8	±	0,4	7	±	0,4	37	±	8	0,43	±	0,03	1,37	±	0,07
8	170 838	1180	Карангат	5	28	±	0,5	10	±	0,4	42	±	5	0,78	±	0,04	1,72	±	0,08

нове учета размера частиц (меньшие значения для песков и большие для лёссовидных отложений), длительности воздействия грунтовых вод (чем ближе к уровню моря, тем продолжительнее) и современных климатических условий Крыма. Таким образом, для лёссово-почвенных отложений верхней части разреза принята оценка в 10%, а для прибрежно-морских песков в 5% (табл. 2).

Результаты датирования лёссово-почвенной толщи (см. рис. 2), перекрывающей карангатские отложения, позволяют предположить возраст начала ее формирования около 72±8 тыс. лет назад. Горизонт лёсса в средней части разреза сформировался 68±5 тыс. лет. назад. Таким образом, начало этапа субаэрального осадконакопления в районе разреза Эльтиген отвечает калининской ледниковой эпохе на Восточно-Европейской равнине, эпохе глобального похолодания МИС (морская изотопная стадия) 4. Нижняя из двух установленных в разрезе погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет, что соответствует короткой фазе потепления в начале эпохи МИС 4 – кетроский межстадиал (?), датированный в ~65 тыс. л. н. [Molodkov, Bolikhovskaya, 2002; Болиховская, 2007].

Образцы из прибрежно-морских отложений (№ 170833–170838) характеризуются высокой стабильностью сигнала и большим количеством принятых аликвот; измеренная доза для кварца оказалась в пределах 50–100 Грей, формируя компактную группу. Отмечаются относительно высокие показатели накопленной дозы для образцов в верхней части морской толщи (80–95 Грей), очевидно, из-за примеси материала из вышележащих отложений, а также в нижней (100 Грей) части разреза. Верхние два образца (№ 170833 и 170834) выделяются более высокими показателями соотношения pIRIR/Q, равным 1,1–1,2, т. е. возраст по полевым шпатам на 10–20% более древний, чем по кварцу. Этот факт свидетельствует о неполной засветке полевых шпатов в момент формирования переходного от прибрежно-

но-морских к лёссовидным отложениям слоя на глубинах 5,7–6,5 м. В связи с этим, на первый взгляд, в хронологии отмечается наличие инверсии в средней части разреза: 104±7 тыс. лет (№ 170833), однако с учетом доверительного интервала возраст формирования отложений на глубине 5,7–6,5 м может быть принят как 100–105 тыс. лет назад.

Таким образом, отложения в интервале глубин 5,7–6,5 м соответствуют моменту выхода территории из-под влияния моря, что, по-видимому, произошло в геологическом отношении достаточно быстро (около 100–105 тыс. лет назад). Возможная активизация эрозионных процессов в этот момент могла быть причиной значительного увеличения поступающего в береговую зону материала и привноса слабозасвеченных зерен полевого шпата.

Для нижней части разреза, представленной типичными прибрежно-морскими косослоистыми песками с многочисленной фауной моллюсков, получены четыре датировки (№ 170835–170838). Они характеризуются полным соответствием возраста по кварцу и по полевым шпатам (табл. 3), что отвечает представлениям о длительной засветке зерен при циклическом перемещении материала в береговой зоне. Возраст формирования этой толщи оценивается нами в 131–120 тыс. лет назад. Подъем уровня моря в этот период происходил, очевидно, с относительно высокой скоростью, в среднем около 32 см/тыс. лет (около 3 см в год). Данный период характеризуется наиболее выраженными межледниковыми условиями (МИС 5e). Пиковая фаза трансгрессии приходится на период 105–100 тыс. лет, скорость подъема уровня моря сократилась до 12,5 см/тыс. лет (около 1 см в год), высота подъема уровня составила ~6,45 м. В климатическом отношении это эпоха верхневожжского (крутицкого) интерстадиала (МИС 5c). Последующее похолодание привело к снижению уровня и началу периода континентального развития территории.

Результаты ОСЛ-датирования для кварца

№	Номер образца	Лаб. номер	Глубина, см	Слой в разрезе	Измерения по кварцу (Q)						
					Доза, Грей			Возраст, тыс. лет			Кол-во аликвот
1	LT-1	170 831	400	Лёсс	135	±	8	68	±	5	19
2	LT-2	170 832	480	Лёсс	163	±	17	72	±	8	19
3	LT-3	170 833	570	Карангат	95	±	4	104	±	7	24
4	LT-4	170 834	650	Карангат	80	±	4	102	±	7	17
5	LT-5	170 835	820	Карангат	77	±	4	120	±	9	22
6	LT-6	170 836	920	Карангат	79	±	2	126	±	7	19
7	LT-7	170 837	1080	Карангат	54	±	2	127	±	10	22
8	LT-8	170 838	1180	Карангат	102	±	5	131	±	10	20

Следует отметить, что полученные результаты об уровне моря и скоростях осадконакопления в эпоху карангатской трансгрессии Черного моря необходимо рассматривать «с оглядкой» на неотектонические движения в южной части Керченского полуострова, учитывая их направленность и скорость. Имеющиеся материалы свидетельствуют о незначительном опускании территории в позднем плейстоцене [Геология СССР, 1969].

Выводы:

– отложения стратотипического разреза черноморского карангата Эльтиген изучены фаунистическим и методом оптически стимулированной люминесценции. Получено восемь датировок, характеризующих разные этапы развития территории: две из них отражают континентальный этап, шесть датировок – морской. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря;

– разрез Эльтиген является хорошо подходящим объектом для изучения методом оптически стимулированной люминесценции, так как отложения, его слагающие, в генетическом отношении представляют собой преимущественно эоловый (лессовидные субаэральные осадки) и прибрежно-морской материал, характеризующийся наиболее полной засветкой зерен кварца и полевого шпата. ОСЛ датирование

выполнено параллельно как по кварцу, так и по полевоому шпату, хронология получена по трем протоколам (ОСЛ, IR₅₀, pIRIR₂₉₀) для каждого образца, что позволяет говорить о надежности полученных дат;

– в разрезе отражено две фазы развития карангатской трансгрессии. Ранняя развивалась в интервале 131–120 тыс. лет назад (МИС 5e). Уровень моря поднимался со скоростью около 32 см/тыс. лет; достиг +3,6 м (абс. выс.). Поздняя фаза трансгрессии протекала в период 120–100 тыс. лет назад (МИС 5d-c). Подъем уровня моря происходил со скоростью 12,5 см/тыс. лет. Максимальные значения (~6,45 м) уровня были достигнуты 105–100 тыс. лет назад (МИС 5c). Учет масштаба неотектонических движений позволит более точно определить максимальную отметку уровня моря;

– карангатский бассейн на протяжении его развития характеризовался неоднородными условиями среды: от умеренно соленых (15–17‰) на начальных этапах, до соленых (28–30‰) по мере развития трансгрессии, и вновь до умеренно соленых (17–18‰) при начавшемся снижении уровня;

– субаэральная стадия осадконакопления началась не позднее 72±8 тыс. лет назад. Нижняя из вскрытых разрезом погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет назад, очевидно, в эпоху межстадиального потепления валдайской ледниковой эпохи (МИС 4).

Благодарности. Полевые и малакофаунистические исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФ № 16-17-10103. ОСЛ датирование проведено за счет гранта РФФИ № 18-05-00296. Авторы выражают благодарность Я.А. Измайлову и В.В. Янко-Хомбах за конструктивное обсуждение материалов.

Таблица 3

и полевых шпатов и их соотношения

Измерения по полевым шпатам (Fs)												Возрастные соотношения							
Протокол pIRIR ₂₉₀						Протокол IR ₅₀						Кол-во аликвот	pIRIR/Q			IR/Q			Кварцевые зерна засвечены
Доза, Грей			Возраст, тыс. лет			Доза, Грей			Возраст, тыс. лет										
206	±	7	70	±	6	137	±	3	47	±	2	12	1,0	±	0,1	0,7	±	0,1	✓
248	±	7	78	±	6	147	±	10	46	±	3	8	1,1	±	0,1	0,6	±	0,1	✓
218	±	19	118	±	12	105	±	22	56	±	12	5	1,1	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
219	±	7	127	±	7	155	±	9	90	±	6	6	1,2	±	0,1	0,9	±	0,1	✓
200	±	8	127	±	8	99	±	5	63	±	4	6	1,1	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
200	±	10	128	±	9	113	±	10	72	±	7	6	1,0	±	0,1	0,6	±	0,1	✓
176	±	8	129	±	9	90	±	4	66	±	5	6	1,0	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
226	±	15	132	±	11	135	±	8	78	±	6	12	1,0	±	0,1	0,6	±	0,1	✓

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андрусов Н.И. Геологические исследования на Таманском полуострове // *Материалы для геологии России*. 1903. Т. XXI, № 2. С. 257–283.

Андрусов Н.И. О возрасте морских послетретичных террас Керченского полуострова // *Ежегодник по геологии и минерал. России*. Т. 7. Вып. 6. 1904–1905. С. 158–172.

Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1987. 300 с.

Арсланов Х.А., Балабанов И.П., Гей Н.А. и др. О возрасте и климатических условиях формирования осадков позднплейстоценовых морских террас побережья Керченского пролива // *Вестник ЛГУ*. 1983. № 12. С. 69–79.

Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Измайлов Я.А. О возрасте голоценовых и верхнеплейстоценовых отложений черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // *Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода*. 1975. № 44. 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.

Болховская Н.С. Пространственно-временные закономерности развития растительности и климата Северной Евразии в неоплейстоцене // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2007. Т. 4. № 32. С. 2–28.

Вронский В.А. Маринопалинология южных морей. Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 1976. 200 с.

Геология СССР. Том 8. Крым. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.

Геология шельфа Украины. Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 186 с.

Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. М.: GEOS, 2002. 232 с.

Жузе А.П., Коренева Е.В., Мухина В.В. Палеогеография Черного моря по данным изучения диатомей и спорово-пыльцевого анализа глубоководных отложений // *Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения*. М.: Наука, 1980. С. 77–86.

Зубаков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 288 с.

Зубаков В.А. Новые материалы о стратиграфическом положении, объеме и возрасте карангата, эвксино-узулара и чауды // *Антропогенный период*. М.: Наука, 1987. С. 63–75.

Зубаков В.А., Богаткина Н.В., Писаревский С.А. Детальное расчленение, стратиграфический объем и возраст карангатского горизонта Причерноморья // *Докл. АН СССР*. Т. 267. 1982. № 2. С. 426–428.

История геологического развития континентальной окраины западной части Черного моря / Ред. П.Н. Куприн. М.: МГУ, 1988. 312 с.

Коренева Е.В. Палеоклиматы плейстоцена Причерноморья по палинологическим данным // *Тез. докл. XI конгресса ИНКВА*. М.: ВИНТИ, 1982. Т. 1. 128 с.

Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А., Борисова О.К. Гирканский этап в позднплейстоценовой истории Маньчжурской депрессии // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2018. № 3. С. 77–88.

Маркова А.К., Михайлеску К.Д. Новое местонахождение терио- и малакофауны в микулинских отложениях низовьев Дуная // *Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода*. 1990. № 59. С. 94–101.

Невеская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 392 с.

Несмеянов С.А., Измайлов Я.А. Тектонические деформации черноморских террас Кавказского побережья России. М.: ПНИИС, 1995. 237 с.

Никонов А.А., Васильев Ю.М., Молодьков А.Н., Накамура Т. Об абсолютном возрасте карангатских отложений в бассейнах Черного и Азовского морей // *Доклады Академии наук*. 1999. Т. 364. № 5. С. 662–664.

Островский А.Б., Измайлов Я.А., Щеглов А.П. и др. Новые данные о стратиграфии и геохронологии плейстоценовых морских террас Черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманской области // *Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР*. М.: Наука, 1977. С. 61–68.

Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.

Свиточ А.А. Стратотипы карангата Таманского и Керченского полуостровов (сравнительный анализ) // *Доклады Академии наук*, 2009. Т. 424. № 5. С. 669–771.

Свиточ А.А., Благодатских О.С., Большаков В.А., Янина Т.А. Новые данные по малакофауне и палеомагнетизму опорных разрезов морского плейстоцена Таманского полуострова // *Доклады Академии наук*, 2001. Т. 376, № 1. С. 110–113.

Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: РАСХН, 1998. 288 с.

Сорокин В.М. Корреляция верхнечетвертичных отложений и палеогеография Черного и Каспийского морей // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 5. С. 96–112.

Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря // Тр. ГИН АН СССР. Т. 88. М.: Наука, 1963. 157 с.

Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.

Чепалыга А.Л. Детальная событийная стратиграфия плейстоцена Черного моря // Четвертичная геология и палеогеография России. М.: ГЕОС, 1997. С. 196–201.

Чепалыга А.Л., Михайлеску К.Д., Измайлов Я.А. и др. Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Черного моря // Четвертичный период. Стратиграфия. М.: Наука, 1989. С. 113–121.

Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: био-стратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 264 с.

Янко В.В. Четвертичные фораминиферы Понто-Каспия: Автореф. докт. дисс. Одесса, 1989. 48 с.

Янко В.В., Фролов В.Т., Мотненко И.В. Фораминиферы и литология стратотипического горизонта (антропоген Керченского полуострова) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65. Вып. 3. С. 85–97.

Aitken M.J. Thermoluminescence dating. Academic Press, London, 1985. 351 p.

Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbati R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments // Boreas. 2012. № 41. P. 435–451.

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 // Netherlands Journal of Geosciences. 2000. Vol. 79. № 2–3. P. 303–311.

Molodkov A.N., Bolikhovskaya N.S. Eustatic sea-level and climate changes over the last 600 ka as derived from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and pollen evidence in Northern Eurasia // Sedimentary Geology. 2002. № 150. P. 185–201.

Murray A.S., Thomsen K.J., Masuda N., Buylaert J.P., Jain M. Identifying well-bleached quartz using the different bleaching rates of quartz and feldspar luminescence signals // Radiation Measurements. 2012. № 47. P. 688–695.

Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability // Radiation measurements. 2003. № 37(4–5). P. 377–381.

Murray A.S., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Articles. 1987. Vol. 115. № 2. P. 263–288.

Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S., Frechen M. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – testing the potential elevated temperature post-IR IRSL protocol // Quaternary International. 2011. № 234. P. 23–31.

Thomsen K.J., Murray A.S., Jain M., Bøtter-Jensen L. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts // Radiation Measurements. 2008. № 43. P. 1474–1486.

Wintle A.G. Recent developments in optical dating of sediments // Radiation Protection Dosimetry. 1993. № 47. P. 627–635.

Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 88–99.

Поступила в редакцию 07.12.2018

После доработки 20.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

R.N. Kurbanov¹, T.A. Yanina², A.S. Murray³,
D.V. Semikolennykh⁴, M.I. Svistunov⁵, E.I. Shtyrkova⁶

THE AGE OF THE KARANGATIAN (LATE PLEISTOCENE) TRANSGRESSION OF THE BLACK SEA

The Karangatian transgression is a significant milestone in the Pleistocene history of the Black Sea. It was a large interglacial transgression reaching 6–7 m above the modern level and the highest salinity during the Pleistocene. At present absolute age of the event is debatable and there is no consensus among the researchers. The paper presents new dating results obtained by the optically-stimulated luminescence (OSL) of the Karangatian deposits represented in the Eltigen stratotype section on the western coast of the Kerch Strait. The section is a favorable object for OSL dating method, since the deposits are represented mainly by aeolian (loess-like subaerial sediments) and coastal-marine sediments, which are characterized by complete bleaching of quartz and feldspar grains. The chronology was obtained for both quartz and

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography, Senior Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: roger.kurbanov@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor; Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography, Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; *e-mail*: paleo@inbox.ru

³ Aarhus University, Denmark, Department of Geosciences, Nordic Luminescence Laboratory, Professor; *e-mail*: andrew.murray@geo.au.dk

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, student; *e-mail*: Dasha.Semikolennykh@gmail.com

⁵ Lomonosov Moscow State University, Physical Faculty, Department of Optics and Spectroscopy, student; *e-mail*: svistunovmihail@rambler.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, Department of Regional Geology and History of the Earth, student; *e-mail*: lenobl1996@gmail.com

feldspar using three protocols (OSL, IR₅₀, pIRIR₂₉₀) for each sample, which allows for the conclusion of the reliability of resulting datings. Eight luminescence ages were obtained, six of them characterize the marine stage and two – continental stage of the territory evolution. The biostratigraphic analysis of mollusk fauna from marine sediments represented in the section confirmed their attribution to the Karangatian transgression of the Black Sea. The studied section covers two phases of the Karangatian transgression. The early stage was in progress during 131–120 thousand years ago (MIS 5e). The sea level rise was about 32 cm/ka and reached +3,6 m. The second phase of the transgression occurred 120–100 thousand years ago (MIS 5d-s). The rise of the sea level was about 12,5 cm/ka. The maximal sea-level dated 105–100 thousand years (MIS 5c), reaching ~6,45 m. Taking into account the scale of neotectonic movements will allow a more accurate determination of the maximum sea level rise. During the development of the Karangatian basin it was characterized by heterogeneous environmental conditions: from moderately saline (15–17‰) at the initial stages to marine (28–30‰) as the transgression progressed, and again to moderately saline (17–18‰) at the beginning of the sea level decrease. The subaerial stage of sedimentation on the coast began no later than 72±8 thousand years ago. The lower of two buried soils represented in the section was formed in the period of 72–68 thousand years, probably during the inter-stage warming within the Valdai glacial epoch (MIS 4).

Key words: Black Sea, Late Pleistocene, Karangatian transgression, Eltigen section, OSL dating, paleogeography

Acknowledgements. Field research and the malakofaunistic analytical work were financially supported by the Russian Science Foundation (project № 16-17-10103). OSL dating was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 18-05-00296). Authors are sincerely grateful to Ya. Izmailov and V. Yanko-Hombach for constructive discussion of materials.

REFERENCES

- Aitken M.J. Thermoluminescence dating. Academic Press, London, 1985. 351 p.
- Andrusov N.I. Geologicheskie issledovaniya na Tamanskom poluostrove [Geological investigations at the Taman Peninsula] // Materialy dlya geologii Rossii. 1903. Vol. 21. № 2. P. 257–283. (in Russian)
- Andrusov N.I. O vozraste morskikh posletretichnykh terras Kerchenskogo poluostrova [On the age of the marine post-Tertiary terraces of the Kerch Peninsula] // Ezhegodnik po geologii i mineral. Rossii. Vol. 7. № 6. 1904–1905. P. 158–172. (in Russian)
- Arkhangel'skij A.D., Strakhov N.M. Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya Chernogo morya [Geological structure and history of evolution of the Black Sea]. M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1938. 226 p. (in Russian)
- Arslanov Kh.A. Radiouglerod: geohimiya i geohronologiya [Radiocarbon: geochemistry and geochronology]. L.: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 1987. 300 p. (in Russian)
- Arslanov Kh.A., Balabanov I.P., Gej N.A. et al. O vozraste i klimaticheskikh usloviyakh formirovaniya osadkov pozdneplejstotsenovykh morskikh terras poberezh'ya Kerchenskogo proliva [On the age and climatic conditions of sediments formation on the Late Pleistocene marine terraces of the Kerch Strait coast] // Vestnik LGU. 1983. № 12. P. 69–79. (in Russian)
- Arslanov Kh.A., Gerasimova S.A., Izmajlov Ya.A. O vozraste golocenovykh i verkhneplejstotsenovykh otlozhenij chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskogo rajona [On the age of the Holocene and the Upper Pleistocene deposits of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch and Taman area] // Bulletin of the Commission on Studying the Quaternary Period. 1975. № 44. P. 107–110. (in Russian)
- Bolihovskaya N.S. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti razvitiya rastitel'nosti i klimata Severnoi Evrazii v neopleistotsene [Spatio-temporal patterns of vegetation and climate development in northern Eurasia during the Neo-Pleistocene] // Arheologia, etnografiya i antropologiya Evrazii. 2007. Vol. 4. № 32. P. 2–28. (in Russian)
- Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbat R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments // Boreas. 2012. № 41. P. 435–451.
- Chepalyga A.L. Detal'naya sobyit'naya stratigrafiya plejstotsena Chernogo moraya [Detailed event stratigraphy of the Pleistocene for the Black Sea] / Chetvertichnaya geologia i paleogeografiya Rossii. M.: GEOS, 1997. P. 196–201. (in Russian)
- Chepalyga A.L., Mihajlesku K.D., Ismajlov Ya.A. et al. Problemy stratigrafii i paleogeografii plejstotsena Chernogo morya [Problems of the stratigraphy and paleogeography of the Pleistocene of the Black Sea] // Chetvertichnyi period. Stratigrafiya. M.: Nauka, 1989. P. 112–121. (in Russian)
- Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennih morskikh bassejnov Severnoj Evrazii za poslednie 130 000 let [Dynamics of landscape components and inland marine basins of Northern Eurasia over recent 130 000 years.]. M.: GEOS, 2002. 232 p. (in Russian)
- 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 // Netherlands Journal of Geosciences. 2000. Vol. 79. № 2–3. P. 303–311.
- Istoriya geologicheskogo razvitiya kontinental'noi okrainy zapadnoj chasti Chernogo moraya [The history of geological evolution of the continental margin of the western part of the Black Sea] / Red. P.N. Kuprin. M.: MGU, 1988. 312 p. (in Russian)
- Fedorov P.V. Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy 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. M.: Nauka, 1963. 157 p. (in Russian)
- Fedorov P.V. Plejstocen Ponto-Kaspiya [The Ponto-Caspian Pleistocene]. M.: Nauka, 1978. 165 p. (in Russian)
- Geologiya shelfa Ukrainy. Kerchenskij proliv [Geology of the Ukrainian shelf. The Kerch Strait]. Kiev: Naukova dumka, 1981. 186 p. (in Russian)
- Geologiya SSSR. Tom 8. Krym. [Geology of the USSR. Vol. 8. Crimea]. Moscow: Nedra, 1969. 576 p. (in Russian)
- Koreneva E.B. Paleoklimaty plejstotsena Prichernomor'ya po palinologicheskim dannym [Pleistocene paleoclimates of the Black Sea area according to palinological data] // Tez. Dokl. XI kongressa INKVA. M.: VINITI, 1982. Vol. 1. 128 p. (in Russian)

Kurbanov P.N., Yanina T.A., Murrey A., Borisova O.K. Girkanskij etap v pozdne-pleistotsenovej istorii Manychskoj depressii [Hyrkanian stage in the Late Pleistocene history of the Manych depression] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr. 2018. № 3. P. 77–88. (in Russian)

Markova A.K., Mikhailets K.D. Novoe mestonakhozhdenie terio- i malakofauny v mikulinskikh otlozheniyakh nizov'ev Dunaya [New site of the terio- and malakofauna in Mikulino deposits of the Lower Danube River] // Bulletin Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 1990. № 59. P. 94–101. (in Russian)

Molodkov A.N., Bolykhovskaya N.S. Eustatic sea-level and climate changes over the last 600 ka as derived from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and pollen evidence in Northern Eurasia // Sedimentary Geology. 2002. № 150. P. 185–201.

Murray A.S., Thomsen K.J., Masuda N., Buylaert J.P., Jain M. Identifying well-bleached quartz using the different bleaching rates of quartz and feldspar luminescence signals // Radiation Measurements. 2012. № 47. P. 688–695.

Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability // Radiation measurements. 2003. № 37(4–5). P. 377–381.

Murray A.S., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radio-nuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Articles. 1987. Vol. 115. № 2. P. 263–288.

Nesmeyanov S.A., Izmajlov Ya.A. Tektonicheskie deformatsii chernomorskih terras Kavkazskogo pobereg'ya Rossii [Tectonic deformations of the Black Sea terraces on the Caucasian coast of Russia]. M.: PNIIS, 1995. 237 p. (in Russian)

Nevesskaya L.A. Pozdnechetvertichnye dvustvorchatye mollyuski Chernogo morya, ikh sistematika i ekologiya [Late Quaternary bivalves of the Black Sea, their systematics and ecology] // Tr. Paleontologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR. M.: Nauka, 1965. 392 p. (in Russian)

Nikonov A.A., Vasil'ev U.M., Molod'kov A.N., Nakamura T. Ob abolutnom vozraste karangatskih otlozenij v bassejnakh Chernogo i Azovskogo morya [On the absolute age of the Karangatian deposits in the basins of the Black and Azov seas] // Doklady Akademii nauk. 1999. Vol. 364. № 5. P. 662–664. (in Russian)

Ostrovskij A.B., Izmajlov Ya.A., Scheglov A.P. et al. Novye dannye o stratigrafii i geohologii plejstotsenovykh morskikh terras Chernomorskogo pobereg'ya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskoi oblasti [New data on the stratigraphy and geochronology of the Pleistocene marine terraces of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region] // Paleogeografiya i otlozheniya plejstotsena yuzhnykh morei SSSR. M.: Nauka, 1977. P. 61–68. (in Russian)

Popov G.I. Plejstocen Chernomorsko-Kaspijskikh proливov [Pleistocene of the Black Sea-Caspian straits]. M.: Nauka, 1983. 216 p. (in Russian)

Sorokin V.M. Korrelatsiya verhnechetvertichnykh otlozenij i paleogeografiya Chernogo i Kaspijskogo morej [Correlation of the Upper Quaternary sediments and paleogeography of the Black and Caspian Seas] // Stratigrafia. Geologicheskaya korrelyatsiya. 2010. Vol. 19. № 5. P. 96–112. (in Russian)

Svitoch A.A. Stratotipy karangata Tamanskogo i Kerchenskogo poluostrovov (sravnitel'nyj analiz) [Karangat stratotypes of the Taman and Kerch Peninsula (comparative analysis)] // Doklady Akademii nauk. 2009. Vol. 424. № 5. P. 669–771. (in Russian)

Svitoch A.A., Blagodatnikov O.S., Bol'shakov V.A., Yanina T.A. Novye dannye po malakofaune i paleomagnetizmu opornykh

razrezov morskogo plejstotsena Tamanskogo poluostrova [New data on the mollusk fauna and paleomagnetism of the reference sections of the maritime Pleistocene of the Taman Peninsula] // Doklady Akademii nauk. 2001. Vol. 376. № 1. P. 110–113. (in Russian)

Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A. Paleogeograficheskie sobytiya plejstotsena Ponto-Kaspiya i Sredizemnomor'ya (materialy po rekonstrukcii i korrelyatsii) [The Pleistocene paleogeographic events of the Ponto-Caspian and the Mediterranean (materials on reconstruction and correlation)]. M.: RASKHN, 1998. 288 p. (in Russian)

Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S., Frechen M. Lu-minescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – testing the potential elevated temperature post-IRSL protocol // Quaternary International. 2011. № 234. P. 23–31.

Thomsen K.J., Murray A.S., Jai M., Botter-Jensen L. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts // Radiation Measurements. 2008. № 43. P. 1474–1486.

Vronskii V.A. Marinopalinologiya yuzhnykh morej [Marine palinology of South Seas]. Rostov-on-Don: Izd-vo RGU, 1976. 200 p. (in Russian)

Wintle A.G. Recent developments in optical dating of sediments // Radiation Protection Dosimetry. 1993. № 47. P. 627–635.

Yanina T.A. Neoplejstocen Ponto-Kaspiya: biostratografiya, paleogeografiya, korrelyatsiya [Neo-Pleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation]. Moscow: MGU, 2012. 264 p. (in Russian)

Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 88–99.

Yanko V.V. Chetvertichnye foraminifery Ponto-Kaspiya [The Quaternary foraminifers of the Ponto-Caspian]: Avtoreferat. doc. diss. Odessa, 1989. 48 p. (in Russian)

Yanko V.V., Frolov V.T., Motenko I.V. Foraminifery i litologiya stratotipicheskogo gorizonta (antropogen Kerchenskogo poluostrova) [Foraminifers and lithology of a stratotypical horizon (the Anthropocene of the Kerch Strait)] // Bull. MOIP. Otd. Geol. 1990. Vol. 65. № 3. P. 85–97. (in Russian)

Zhuze A.P., Koreneva E.V., Mukhina V.V. Paleogeografiya Chernogo morya po dannym izucheniya diatomei i sporovopyltsevoogo analiza glubokovodnykh otlozhenij [Paleogeography of the Black Sea according to the results of diatoms and spore and pollen analyses of the deepwater deposits] // Geologicheskaya istoriya Chernogo morya po rezul'tatam glubokovodnogo bureniya. M.: Nauka, 1980. P. 77–86. (in Russian)

Zubakov V.A. Globalnye klimaticheskie sobytiya plejstotsena [Global climatic events of the Pleistocene]. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 288 p. (in Russian)

Zubakov V.A. Novye materialy o stratigraficheskom polozhenii, ob'eme i vozraste karangata, evksino-uzunlara i chaudi [New materials on stratigraphic position, interval and age of the Karangat, Euxino-Uzunlar and Chauda] // Antropogenoviy period. M.: Nauka, 1987. P. 63–75. (in Russian)

Zubakov V.A., Bogatkina N.V., Pisarevskii S.A. Detal'noe raschlenenie, stratigraficheskij ob'em i vozrast karangatskogo gorizonta Prichernomor'ya [Detailed division, stratigraphic volume and age of the Karangat horizon in the Black Sea region] // Dokl. AN SSSR. Vol. 267. № 2. P. 426–428. (in Russian)

Received 07.12.2018

Revised 20.06.2019

Accepted 28.06.2019