

УДК 551.89

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ РАННЕХВАЛЫНСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2023 г. Р. Н. Курбанов^{a, b, *}, В. Р. Беляев^a, М. И. Свистунов^b, Е. А. Бутузова^b,
Д. А. Солодовников^c, Н. А. Таратунина^{a, b}, Т. А. Янина^a

^aГеографический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^bИнститут географии РАН, Москва, Россия

^cВолгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

*e-mail: kurbanov@igras.ru

Поступила в редакцию 18.09.2022 г.

После доработки 16.01.2023 г.

Принята к публикации 21.02.2023 г.

В статье представлены результаты первой детальной абсолютной хронологии раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря на основе датирования методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) и их обсуждение. Исследование проведено для особой фации хвалынских отложений — шоколадных глин, широко распространенных в Прикаспийской низменности. В изученных опорных разрезах Нижнего Поволжья (Средняя Ахтуба, Райгород, Ленинск) шоколадные глины имеют значительную мощность, в их строении выделяется три подфации: пачка переслаивания песков и суглинков, пачка монолитных плотных глин и венчающая разрез характерная пачка с тонкими пропластами алевролита, образующими характерную мелкоплитчатую структуру. Первая пачка отражает условия начального этапа проникновения хвалынских вод в район расположения разреза, вторая — условия глубоководного залива, третья — время регрессии со значительным участием аллювиальных процессов в осадконакоплении. ОСЛ-хронология получена по результатам параллельного датирования по кварцевым и полевошпатовым зернам с применением современных протоколов измерений люминесценции минералов. Результаты датирования свидетельствуют о формировании нижнехвалынских морских отложений в северной части Нижнего Поволжья в период между 27 и 14 тыс. л. н. Данные о возрасте хвалынских отложений дополнительно подтверждены датами по вышележащим каштановым почвам (9.6–0.7 тыс. л. н.) и подстилающим лёссово-почвенным сериям (37–19 тыс. л. н.). Люминесцентное датирование высокого разрешения позволило впервые выделить четыре стадии развития хвалынской трансгрессии в Нижнем Поволжье: первоначального проникновения вод до уровня ~5 м абс. (27 тыс. л. н.); стадию стабилизации и постепенного подъема уровня с ~5 до 7 м абс. (27–20 тыс. л. н.); этап активного повышения уровня моря до максимальных значений и перемещения береговой линии на север (17–15 тыс. л. н.); финальную регрессивную фазу с падением уровня моря (15–14 тыс. л. н.).

Ключевые слова: Каспийское море, хвалынская трансгрессия, колебания уровня моря, ОСЛ-датирование, геохронология, поздний плейстоцен, палеогеография, шоколадные глины

DOI: 10.31857/S2587556623030081, **EDN:** QSLXBQ

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море является уникальным объектом для изучения истории развития природной среды Северной Евразии, сохраняя в донных отложениях запись динамики климатических условий всего водосборного бассейна. Четвертичные отложения Каспия — ценный архив эволюции природной среды центра Евразии: ледниково-межледниковые циклы Русской равнины, Кавказа и Центральной Азии, глобальные и региональные изменения климата. Систематическое изучение четвертичной истории Каспийского региона

продолжается уже более 100 лет (Андрусов, 1889). На основе комплексных исследований детально охарактеризовано строение отложений (Свиточ, 2014), разработана подробная хроностратиграфическая схема (Федоров, 1978), выделены береговые линии древних бассейнов Каспия (Рычагов, 1997), предложены различные варианты кривой колебания уровня моря (Рычагов, 2014; Свиточ, 2007). Из всех участков побережья Каспийского моря Прикаспийская низменность является наиболее изученным районом: здесь, в Нижнем Поволжье, описана серия разрезов в протяженном

обнажении вдоль абразионных берегов Волги и Ахтубы, выделен ряд стратотипов каспийского плейстоцена (Свиточ, 2014).

В сложной и динамичной позднеплейстоценовой истории Каспийского моря выделяется одно очень яркое событие — хвалынская трансгрессия, одна из крупнейших по своим масштабам и относительному подъему уровня (Рычагов, 2014; Свиточ, 2007). Последние данные, полученные по акватории и различным участкам побережья, свидетельствуют о наличии трех стадий трансгрессии. Результаты анализа керн скважин Северного Каспия указывают на существование стадии, которая фиксируется по морским отложениям с хвалынской фауной выше субаэральных ательских отложений (Безродных и др., 2017). Это событие не было описано в прибрежных обнажениях и выделяется как самая ранняя стадия, для которой предложено название палеохвалынская или древнехвалынская трансгрессия (Yanina et al., 2018). Палеохвалынская стадия отражает самое начало трансгрессии, которая развивалась после значительного снижения уровня моря, когда, по-видимому, вся акватория Северного Каспия была осушена. В это время произошел подъем уровня моря примерно до значений, близких к современному положению Каспия. По данным датирования керн скважин, развитие палеохвалынской стадии, по-видимому, происходило в интервале от 36 тыс. л. н. до максимума последнего оледенения (Yanina et al., 2018).

Последовавшая затем раннехвалынская стадия была временем максимального развития трансгрессии и резкого увеличения уровня и площади Каспия. Согласно классическим представлениям (Свиточ, 2014; Федоров, 1978), уровень моря достиг 45–50 м абс., а площадь превысила 1 млн км², каспийские воды проникли глубоко в Прикаспийскую низменность, Западно-Туркменскую низменность и Каракумы, образовались пролив в Маньчжурской депрессии и широкие заливы в долинах Волги, Куры, Урала и Узбоя. Следы этого события охарактеризованы на всех участках каспийского побережья. Точный максимальный уровень все еще является предметом дискуссий, но большинство специалистов определяют его в промежутке 45–50 м абс. (Рычагов, 1997; Свиточ, 2014). Таким образом, размах трансгрессии характеризуется подъемом уровня на более чем 100 м. Последовавшая после кратковременной енотаевской регрессии позднехвалынская стадия была незначительной по размерам. Эта стадия фиксируется как геоморфологическими свидетельствами (наличием выраженной морской террасы), так и биостратиграфией (Свиточ, 2007): раннехвалынский фаунистический комплекс характеризуется преобладанием в составе моллюсков видов *Didacna protracta*, *D. parallella*, *D. ebersi*, редкими *D. praetrigonoides*, в то время как позд-

нехвалынский комплекс — тем же составом дидакн, но с четким преобладанием *Didacna praetrigonoides*. При этом существует мнение, что поздняя стадия не является самостоятельным событием, а лишь фиксирует период кратковременной стабилизации уровня в условиях регрессивной тенденции бассейна (Лаврушин и др., 2014).

Существуют две основные точки зрения на возраст раннехвалынской стадии. Сторонники “древнего” возраста считают, что трансгрессия развивалась в период от 70 до 30 тыс. л. н. Авторы подчеркивают как необходимость значительного времени для заполнения огромным объемом воды каспийской котловины до максимального уровня бассейна, так и стадийное развитие трансгрессии с периодами стабилизации уровня, необходимыми для формирования морских террас и стадийных береговых линий, хорошо выраженных на разных участках побережья (Рычагов, 2014). Эта аргументация поддерживается датами на основе разных методов: термолюминесцентный (ТЛ) по методике Морозова—Шелкопляса — 72–47 тыс. л. н. (Рычагов, 1997), ТЛ по методике Шлюкова—Шаховца — 48–10 тыс. л. н. (Шаховец, 1987), U-Th — 30–25 тыс. л. н. и единичными радиоуглеродными — 31–28 тыс. л. н. (Mamedov, 1997).

Сторонники “молодого” возраста раннехвалынской стадии трансгрессии указывают на гораздо более многочисленные результаты радиоуглеродного датирования, которые укладываются в интервал 23–10 тыс. л. н. (Бадюкова, 2007; Свиточ, 2007; Arslanov et al., 2016; Makshaev and Svitoch, 2016). Близкие результаты также получены и уран-ториевым методом (Рычагов, 1997). Новые даты, полученные с применением ускорительной масс-спектрометрии (УМС) по образцам с различных участков каспийского побережья, указывают на то, что нижнехвалынские морские отложения формировались ~19–15 тыс. л. н. (Tudryn et al., 2016)¹. Возрастные определения, полученные по раковинам и органическому веществу керн скважин акватории Северного Каспия, помещают время раннехвалынской трансгрессии в промежуток 36–18 тыс. л. н. (Yanina, 2020).

В последние годы получены новые массивы дат для отложений раннехвалынской стадии. Радиоуглеродные даты по Нижнему и Среднему Поволжью (Макшаев, Ткач, 2023; Makshaev and Svitoch, 2016; Zastrozhnov et al., 2020), акватории Северного Каспия (Безродных и др., 2017; Leroy et al., 2015), Западно-Туркменской низменности (Kurbanov et al., 2014) указывают на развитие трансгрессии в период 23–12 тыс. л. н. Датирование методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) для Нижнего Поволжья (Butuzova et al., 2022; Kurbanov et al., 2021; Kurbanov et al., 2022;

¹ Здесь и далее указаны калиброванные даты.

Taratunina et al., 2022; Zastrozhnov et al., 2021; Zastrozhnov et al., 2020) дали несколько более молодой возраст: между 18–14 тыс. л. н. Для Манычской депрессии получены даты для нижнехвалынских осадков 17.7–14.9 тыс. л. н. (Семиколенных и др., 2022), отражающие время перетока вод из Каспия в Азово-Черноморский бассейн.

Несмотря на значительный прогресс в определении возраста различных этапов эволюции Каспийского моря в позднем плейстоцене, и многочисленные подтверждения “молодого” возраста раннехвалынской стадии, остается ряд нерешенных проблем палеогеографии региона: 1) ранг, возраст и масштабы трех стадий хвалыни; 2) наличие и хронология отдельных подстадий, которые фиксируются по выраженным в рельефе береговых линиям, отражающим этапы стабилизации уровня; 3) время образования хвалынского пролива в Манычской депрессии, характер его формирования и влияние на динамику уровня бассейна; 4) характер и стадийность развития береговых процессов во время трансгрессивного подъема уровня моря на участках глубоких эстуариев в долине Волги, Куры и Узбоя. Без решения этих принципиальных проблем, по-видимому, сложно будет продвинуться в понимании целого ряда других интересных вопросов в истории Каспийского моря: генезис и возраст бэровских бугров, источник воды для развития трансгрессий, корреляция с палеогеографическими событиями в соседних регионах и др. (Бадюкова, 2021).

Наиболее широко применяемая радиоуглеродная хронология ограничена необходимостью отбора органического материала, что зачастую позволяет датировать лишь те слои, где встречаются раковины каспийских моллюсков. В данном исследовании нами применено люминесцентное датирование высокой детальности для определения возраста нижнехвалынских отложений в надежде разрешить неопределенность относительно возраста ранней стадии хвалынской трансгрессии на примере Нижнего Поволжья. Новые данные существенно дополняют полученные ранее единичные даты для ряда разрезов региона (Kurbanov et al., 2021). Целью работы является разработка детальной хронологии развития трансгрессии на территории Нижнего Поволжья на основе применения люминесцентного датирования по материалам изучения трех опорных разрезов, расположенных вблизи г. Волгоград.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты и район исследований

Нижнее Поволжье расположено в пределах Прикаспийской низменности, простирающейся от возвышенности Общий Сырт на севере до бе-

регов Каспийского моря на юге. Абсолютные высоты низменности варьируют от –28 м на побережье Каспийского моря до 50 м в северной части региона. Рельеф представлен морской аккумулятивной равниной со следами эрозионных, суффозионных и эоловых процессов (Москвитин, 1962). В разрезах северной части Нижнего Поволжья нижнехвалынские отложения расположены между голоценовой почвой и ательской субаэральной свитой (Kurbanov et al., 2021). Они представлены легко идентифицируемыми глинами со специфическими характеристиками: коричневатый цвет, полосчатая текстура и многочисленные прослои алеврита толщиной менее 1 мм, что придает отложениям характерную “шоколадную” текстуру (Свиточ и Макшаев, 2015). В целом этот тип фаций в Прикаспийской низменности фиксируется в понижениях рельефа различных конфигураций и размеров, самой крупной из которых является долина Нижней Волги (Москвитин, 1962). Гипсометрическое положение хвалынских осадков в разрезах Поволжья изменчиво, они повторяют особенности палеорельефа.

Для отбора проб были выбраны три известных и детально исследованных разреза по обе стороны Волго-Ахтубинской долины вблизи г. Волгоград (рис. 1). Разрез Райгород (48.4313 с.ш., 44.9665 в.д., высота 13.68 м) является стратотипом ательской свиты Прикаспийской низменности. Здесь, на правом борту долины, горизонт шоколадных глин (ШГ) мощностью 1.7 м венчает разрез и с несогласием лежит на ательских лёссово-почвенных сериях (см. рис. 1в), общее строение разреза приведено в (Taratunina et al., 2022). Разрез Средняя Ахтуба расположен на правом борту долины южнее одноименного поселка (48.7004 с.ш., 44.8937 в.д., высота 14.89 м), подробное описание строения разреза приведено в (Янина и др., 2017; Taratunina et al., 2021), здесь представлены типичные ШГ общей мощностью 2.6 м (см. рис. 1б). В 20 км восточнее расположен разрез Ленинск (48.7213 с.ш., 45.1592 в.д., 11.45 м), где типичные ШГ имеют мощность около 3.7 м (Költringer et al., 2021b). Хвалынские осадки в этой части Нижнего Поволжья зажаты между ательскими лёссово-почвенными сериями и аллювиальными песками (снизу) и голоценовой каштановой почвой. В связи с тем, что в последних опубликованных работах по этим разрезам в основном обсуждаются результаты датирования ательской свиты (Kurbanov et al., 2022; Taratunina et al., 2022), нами выполнено обобщение результатов полевых исследований 2015–2020 гг. и люминесцентного датирования хвалынских отложений для уточнения хронологии хвалынской трансгрессии.

Для удобства чтения в статье используются следующие сокращения: СА – разрез Средняя Ахтуба; РГ – разрез Райгород; ЛН – разрез Ленинск; ШГ – шоколадные глины.

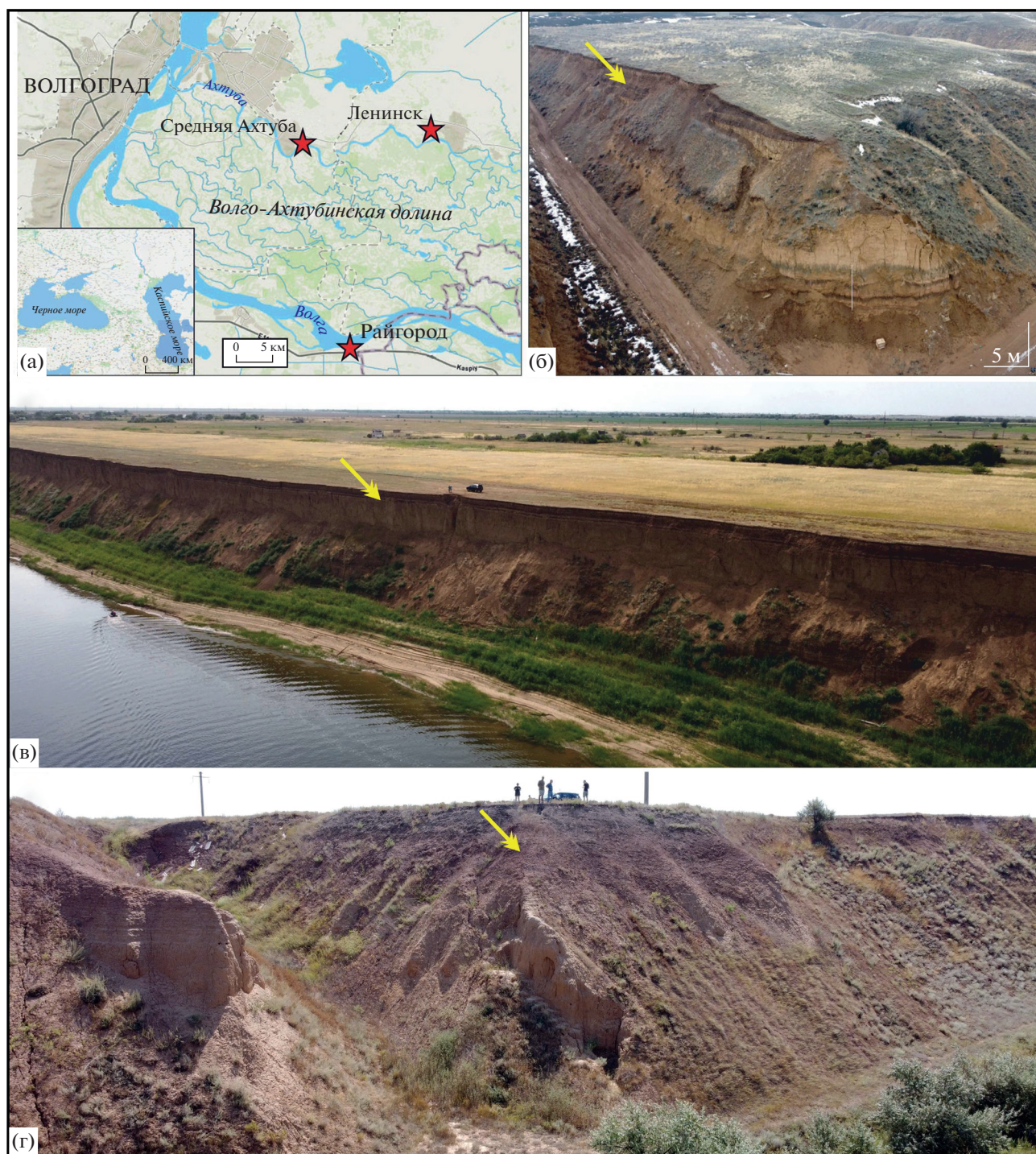


Рис. 1. Район исследования, расположение изученных разрезов (а) и общий вид обнажений в Средней Ахтубе (б), Райгороде (в) и Ленинке (г); стрелками указано положение горизонта шоколадных глин.

Люминесцентное датирование

Отбор образцов и пробоподготовка. Во время полевых работ были отобраны пробы из трех описанных разрезов для люминесцентного датирования морских хвалынских отложений, подстилающих их лёссов и вышележащей почвы. В связи с

высокой плотностью отложений и невозможностью использования труб отбор проб производился ночью, когда в предварительно зачищенной стенке отбирались небольшие блоки осадка и помещались в непрозрачные пластиковые пакеты. Первичная пробоподготовка выполнена в Москве

в группе ОСЛ-датирования МГУ/ИГРАН по стандартной методике (Курбанов и др., 2021).

Измерение эквивалентной дозы. Измерения люминесценции были выполнены в Скандинавской лаборатории люминесцентного датирования в Рисо (Дания) по навескам зерен, установленным на дисках из нержавеющей стали, в ТЛ/ОСЛ ридере Riso TLDA-20, снабженным калиброванным бета-источником. Для измерения люминесцентного сигнала в кварце применялись большие (8 мм) аликвоты, для калиевых полевых шпатов использовали малые (2 мм) аликвоты. Чистота кварца была подтверждена отсутствием значительного сигнала, стимулированного инфракрасным излучением (IRSL). Измерения для различных партий образцов из разных разрезов выполнялись в разное время, результаты частично опубликованы, но при этом соблюдалось единство методики измерений, детально описанной в (Курбанов и др., 2019).

Дозиметрия, расчет скорости накопления дозы. Измерения концентрации радионуклидов выполнялись с помощью гамма-спектрометров высокого разрешения. Пробоподготовка выполнена по стандартной методике (Курбанов и др., 2021). Итоговая активность радионуклидов, обсуждение значений водонасыщения пород и скорости накопления дозы для образцов из каждого разреза приведены в специальных статьях (Янина и др., 2017; Kurbanov et al., 2022; Taratunina et al., 2022). В целом, ШГ отличаются высоким содержанием радионуклидов, что характерно для глинистых осадков.

Надежность хронологии. Люминесцентное датирование выполнено на основе измерения сигнала по трем протоколам на основе SAR: ОСЛ для кварца, IR_{50} и $pIRIR_{290}$ для калиевых полевых шпатов (КПШ). Данная методика позволяет выполнить сравнение датировок, оценить степень обнуления материала и, таким образом, говорить о надежности итоговой хронологии (Курбанов и др., 2019). Люминесцентный сигнал в кварцевых образцах характеризуется высокой чувствительностью, т.е. хорошо реагирует на стимуляцию светом, в нем преобладает быстрый компонент. Тест восстановления дозы был выполнен для шести аликвот каждого образца, и данные дозы варьировались от 4 до 100 Гр в зависимости от измеренной палеодозы каждого образца. Общие коэффициенты восстановления дозы близки к единице (1.01 ± 0.03 , $n = 96$), что говорит о том, что выбранный протокол способен точно измерить известную дозу, назначенную перед любой термической обработкой. Кривая затухания сигнала для полевых шпатов по протоколу $pIRIR_{290}$ имеет характерную форму (Taratunina et al., 2022). Образцам свойственна высокая чувствительность сигнала (коэффициент рециркуляции 0.09 ± 0.01 ,

$n = 96$). Тест восстановления дозы проводился по 3 аликвотам каждого образца; задаваемые дозы варьировались от 50 до 100 Гр в зависимости от измеренной палеодозы каждого образца. Образцы КПШ предварительно обнулялись с использованием стимулятора солнечного света (48 часов), коэффициент восстановления дозы составляет 1.04 ± 0.03 ($n = 15$), что указывает на применимость протокола $pIRIR_{290}$ для точного измерения известной дозы перед любой термической обработкой. Дополнительные данные по люминесцентным характеристикам образцов каждого из разрезов, содержание радионуклидов и эквивалентные дозы приведены в специальных статьях (Янина и др., 2017; Kurbanov et al., 2022; Taratunina et al., 2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строение хвалынских шоколадных глин

В разрезе Средняя Ахтуба (СА) ШГ с размывом залегают на лёссово-почвенных сериях ательской свиты, кровля которых представлена сохранившейся нижней частью палеопочвы (слой СА-6, рис. 2). В строении ШГ выделяется три слоя. В основании залегают слой СА-5 с крупными уплотненными плитчатыми глинами и частыми тонкими прослоями алевроита 1–2 мм, мощность глиняных прослоев 0.5–2 см. В средней части слоя плитки толщиной 1.5–2 см имеют размеры до 30 см, поверхность волнистая, напоминает волновую рябь, с алевроитовым напылением, причем количество алевроита увеличивается в понижениях ряби (рис. 3а). В верхней части количество алевроитистых пропластов уменьшается, общая мощность слоя — около 40 см. Постепенно происходит переход к однородным ШГ (слой СА-4, 0.5 м), в которых отсутствуют пропласты алевроита. Особенность слоя — его однородность, отсутствие включений. При высыхании материал раскалывается на многочисленные вертикальные столбики размером 3–4 см. Выше по разрезу снова появляются пропласты алевроита, материал приобретает плитчатую отдельность, а затем появляются выраженные прослои алевроита мощностью до 1–2 см (слой СА-3), на глубине 2.95 м отмечается прослой с многочисленными раковинами каспийских моллюсков (Янина и др., 2017). Постепенно количество тонких пропластов алевроита увеличивается, мощность глинистых прослоев уменьшаются с 2–3 до 0.2 см, толщина приобретает ритмичное строение (слой СА-2), материал при высыхании раскалывается на характерные плитки (рис. 3б). Мощность слоя составляет ~1.5–1.6 м, переход в вышележащий суглинок в основании голоценовой каштановой почвы постепенный, граница выделяется условно по цвету и уменьшению выраженности плитчатого строе-

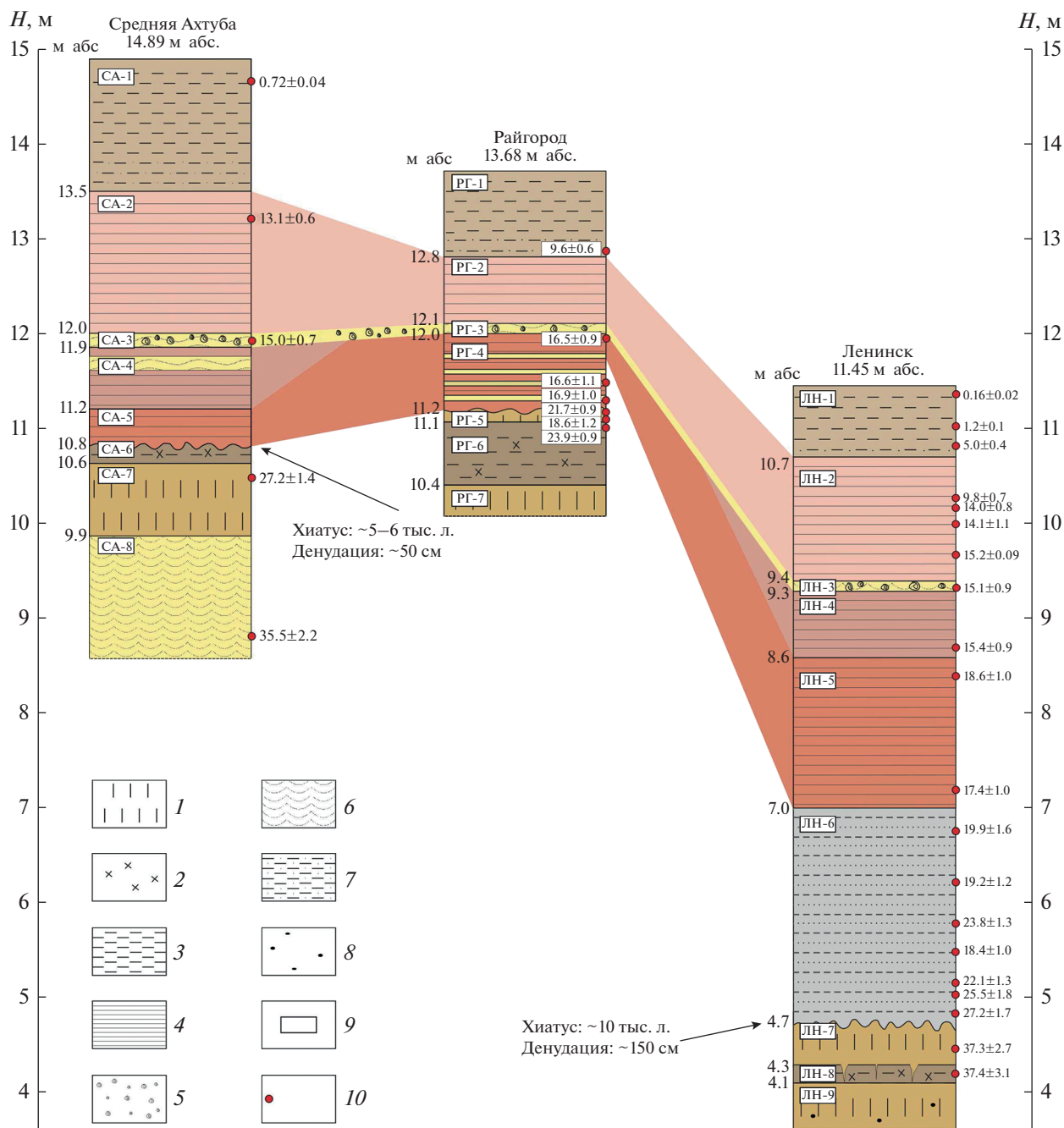


Рис. 2. Строение, литологическая характеристика изученных разрезов и результаты датирования. 1 – лёсс; 2 – палеопочва; 3 – суглинок; 4 – глина; 5 – малакофауна; 6 – песок; 7 – супесь; 8 – угли; 9 – литологические слои; 10 – ОСЛ-возраст, тыс. л. н.

Примечание: В литологических колонках цветом показан естественный цвет отложений, а цвет корреляций указывает на взаимоотношение различных подфаций шоколадных глин, отвечающих этапам развития трансгрессии – быстрого подъема уровня, максимального уровня, падения уровня. Для каждого разреза указано положение над уровнем моря (в Балтийской системе высот). Строение шоколадных глин и взаимоотношение слоев уточнено по сравнению с опубликованными первыми данными (Kurbanov et al., 2021).

ния. Таким образом, в СА выделяется три фации ШГ: (1) основание толщи представлено крупными уплощенными плитчатыми глинами, (2) средняя часть – гомогенными массивными глинами,

(3) верхняя – ритмичным переслаиванием алевритов и глин с мелкоплитчатой отдельностью, в низах с выраженными прослоями алевритов и тонких песков, обогащенных раковинами мол-

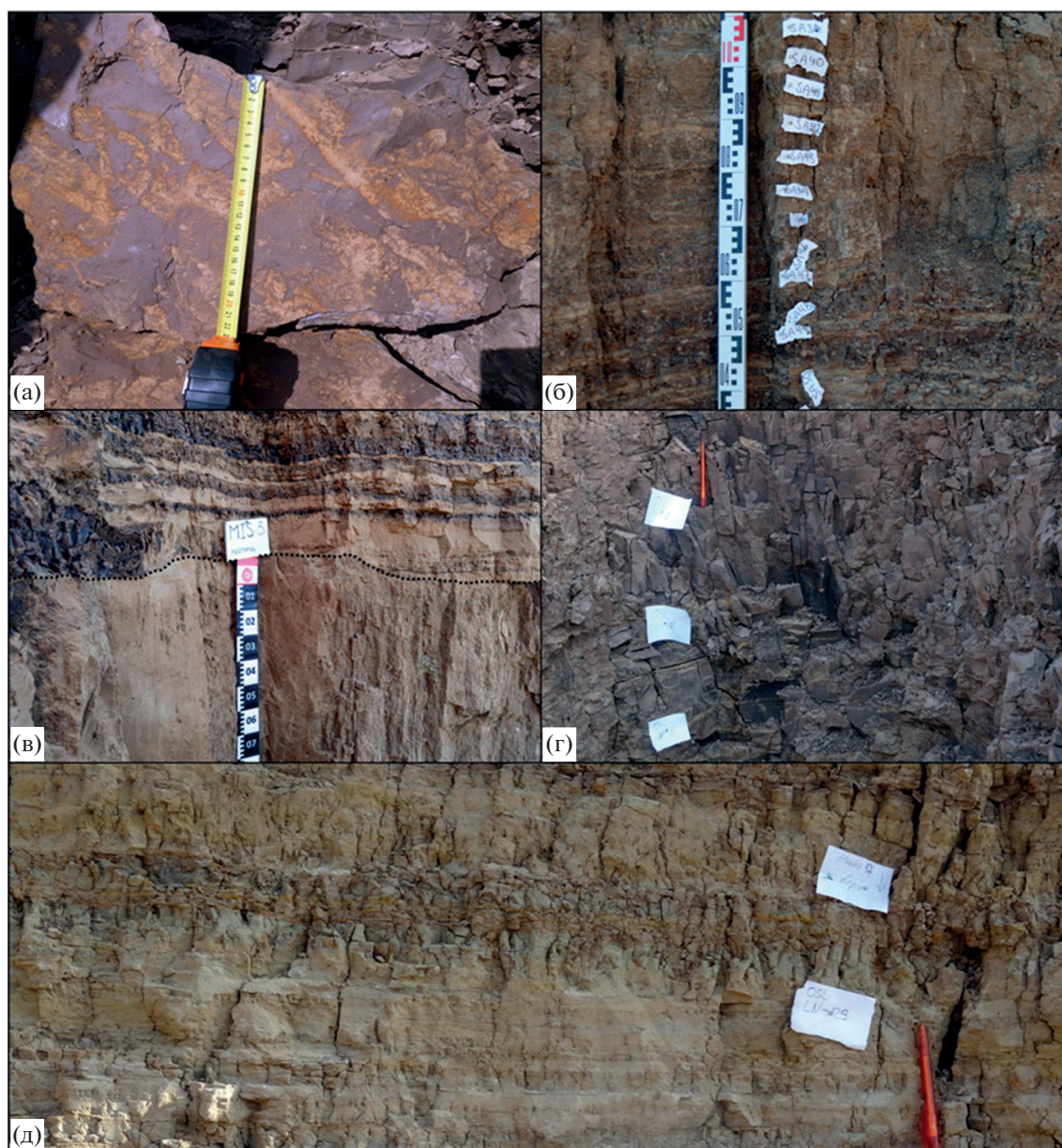


Рис. 3. Фациальные особенности шоколадных глин: (а) уплотненная плитка глин со следами ряби течения на гранях, Средняя Ахтуба, слой СА-5; (б) типичные ШГ в верхней части Средней Ахтубы с характерной плитчатой отдельностью, слой СА-2; (в) переслаивание суглинков, супесей и песков в основании ШГ разреза Райгород, слой РГ-4, выражена эрозионная граница в кровле ательских лёссов; (г) монолитные ШГ со столбчатой отдельностью в средней части Ленинск, слой ЛН-4; (д) переслаивание суглинков, супесей и мелкозернистых песков слоя ЛН-6.

люсков, переход к современной почве представлен сильнотрещиноватыми глинами, со следами почвенных процессов (Lebedeva et al., 2018).

В разрезе Райгород (РГ) ШГ также с размывом залегают на ательских лёссах, но имеют другой облик (см. рис. 2). В основании толщи представлен слой РГ-4 — переслаивание плитчатых глин и прослоев алевроита (рис. 3в), причем в основании слоя последние доминируют и имеют мощность от 2–3 до 5–10 см, отмечается примесь песка, мощность глинистых прослоев от 1 до 2–3 см. В

верхней половине слоя уже глины начинают доминировать, алевроит выражен в виде тонких пропластов, выделяются отдельные прослои мощностью до 1–2 см. В тонкопесчаных и алевроитистых прослоях встречаются раковины каспийских моллюсков. Постепенно отмечается переход к коричневым глинам с мелкоплитчатой текстурой, сильно трещиноватым, без выраженных пропластов алевроита (слой РГ-2).

В литологических колонках цветом показан естественный цвет отложений, а цвет корреляций

указывает на взаимоотношение различных подфаций шоколадных глин, отвечающих этапам развития трансгрессии — быстрого подъема уровня, максимального уровня, падения уровня. Для каждого разреза указано положение над уровнем моря (в Балтийской системе высот). Строение шоколадных глин и взаимоотношение слоев уточнено по сравнению с опубликованными первыми данными (Kurbanov et al., 2021).

В разрезе Ленинск (ЛН) строение морских отложений в верхней части имеет сходное со Средней Ахтубой строение (см. рис. 2). Здесь в основании ШГ также залегает слой с крупными плитками (ЛН-5, 70 см), переходящий выше в монолитные глины (ЛН-4, 1.6 м, рис. 3г). На глубине 2.0–2.1 м выражен прослой алевритистого песка с фауной моллюсков (ЛН-3, 0.1 м). Венчает разрез ШГ слой с мелкоплитчатой структурой (ЛН-2, 1.2 м), постепенно переходящий в суглинок в основании современной каштановой почвы. При этом для ЛН отмечается более сложное строение хвалыньских отложений. Здесь ниже типичных ШГ выделяется слой горизонтально переслаивающихся прослоев глин, суглинков и мелкозернистых песков мощностью 2–3 см, серого цвета (рис. 3д); общая мощность слоя 2.3 м (ЛН-6). Встречается редкий раковинный детрит, недостаточный для видовых определений моллюсков. В самом основании слоя, над эрозионной границей с нижележащими ательскими лёссами, выделяется прослой песка мощностью до 0.5 см с отдельными мелкими обломками раковин моллюсков, в которых выделяются обломки характерные для рода *Didacna*. Эта фация хвалыни ранее не была описана в регионе.

Таким образом, в Райгороде и Средней Ахтубе ШГ подстилаются лёссово-почвенными сериями с явным эрозионным контактом. Нами выделено три подфации ШГ. 1. Плитчатая, с крупными уплотненными плитками глин и тонкими пропластами алеврита, редко встречается раковинный детрит. Текстурные особенности позволяют говорить о том, что эта подфация формировалась в условиях мелководного эстуария Волги с нестабильным уровнем и активным влиянием флювиальных процессов, которые выразились в многочисленных тонких пропластах алеврита. 2. Массивная плотная глина, розовато-коричневая, без видимых следов горизонтальной слоистости, в отложениях практически нет включений песчаных зерен и алеврита. Эта подфация формировалась в понижениях дохвалынского рельефа на дне глубокого хвалынского залива в Прикаспийской низменности. Однородность глин, отсутствие включений указывают на аккумуляцию в спокойных условиях, без участия флювиальных процессов. Из этой подфации было отобрано 10 образцов для датирования, однако ни в одном из них не удалось выделить зерен песчаной и алевритовой

размерности, что сделало люминесцентное датирование невозможным. 3. Сильнотрещиноватые глины, в основании с частыми прослоями алеврита и тонких песков, многочисленными раковинами и их обломками, в верхней части — со следами почвенных процессов. Учитывая строение отложений, наличие прослоев хорошо сортированного песка, видимых прослоев алеврита, эта подфация формировалась вблизи береговой линии, уровень бассейна был нестабильный, происходили частые фазы аккумуляции алеврита вследствие активизации флювиальных процессов. Песчаные прослои с раковинами моллюсков формировались на подводном береговом склоне. Здесь описана типичная хвалыньская фауна, в которую входят *Didacna protracta*, *D. ebersini*, *Dreissena rostriformis* и *Dr. polymorpha*. В Ленинске нижняя граница ШГ нечеткая, отмечается по увеличению мощности прослоев алеврита и песка, ослаблению характерного буровато-красного цвета. В разрезе представлена еще одна фация хвалыньских отложений — серые глины и супеси. Эта фация резко отличается от ШГ как по цвету, так и по структуре — нет характерной плитчатой отдельности. Формирование этой толщи происходило в резкодинамических условиях мелководного бассейна, когда в одни сезоны со стабильным уровнем формировались глины, в другие, маловодные, большее значение имел флювиальный фактор (суглинки), а близкое положение береговой линии отмечается в виде песчаных прослоев. В изученном районе хвалыньские отложения перекрыты современной каштановой почвой, образованной в результате почвенных процессов и биотурбации частично морских глин, частично эолового материала, поступавшего за голоцен.

Люминесцентные характеристики отложений

В общей сложности было получено 32 даты для разрезов Средняя Ахтуба, Райгород и Ленинск. Итоговые даты по кварцу и полевым шпатам, а также возрастные соотношения по двум протоколам IR_{50} и $pIRIR_{290}$ к кварцу представлены в табл. 1.

В разрезе Ленинск был также отобран образец из слоя современного лёсса, наложенного на современную почву, для которого получен возраст по кварцу 200 ± 20 лет, что свидетельствует о том, что, по крайней мере, эоловый кварц хорошо обнуляется в этом районе в настоящее время. В связи с тем, что современного аналога шоколадных глин не существует, степень обнуления сигнала должна оцениваться с использованием дифференциальных скоростей обнуления кварца и полевого шпата. В методическом исследовании (Murray et al., 2012) приводятся материалы сравнения трех сигналов (ОСЛ, IR_{50} и $pIRIR_{290}$) для разных отложений. Доказано, что образцы, для которых возраст $IR_{50} \leq$ возраста по кварцу — явля-

Таблица 1. Результаты люминесцентного датирования для кварца и полевых шпатов и их соотношения

Разрез	№	Лаб. №	Н, см	Слой в разрезе	Возраст, тыс. л. н.			Возрастные соотношения		Кварц достаточно засвечен
					Q	Fk, pIRIR ₂₉₀	Fk, IR ₅₀	pIRIR ₂₉₀ /Q	IR ₅₀ /Q	
ЛН	1	170801	5	ЛН-1	0.16 ± 0.02	0.23 ± 0.03	0.16 ± 0.02	1.0 ± 0.2	1.4 ± 0.2	✓
	2	170802	15	ЛН-1	1.2 ± 0.1	1.69 ± 0.09	1.16 ± 0.06	1.0 ± 0.1	1.5 ± 0.1	✓
	3	180801	55	ЛН-1	5.0 ± 0.4	6.6 ± 0.9	4.0 ± 0.7	0.79 ± 0.15	1.32 ± 0.20	✓
	4	180802	104	ЛН-2	9.8 ± 0.7	13.9 ± 1.2	7.5 ± 0.5	0.77 ± 0.08	1.43 ± 0.16	✓
	5	180803	114	ЛН-2	14.0 ± 0.8	16.0 ± 0.8	10.2 ± 0.5	0.73 ± 0.05	1.14 ± 0.08	✓
	6	180804	138	ЛН-2	14.1 ± 1.1	н/д				
	7	180805	178	ЛН-2	15.2 ± 0.9	н/д				
	8	170803	211	ЛН-3	15.1 ± 0.9	22.5 ± 1.2	19.5 ± 1.0	1.29 ± 0.10	1.49 ± 0.12	
	9	180806	240	ЛН-4	15.4 ± 0.9	н/д				
	10	170804	293	ЛН-5	18.6 ± 1.0	27.0 ± 1.5	19.3 ± 1.0	1.04 ± 0.08	1.46 ± 0.11	✓
	11	170805	445	ЛН-5	17.4 ± 1.0	н/д				
	12	180877	462	ЛН-6	19.9 ± 1.6	22.7 ± 1.7	14.9 ± 1.1	0.75 ± 0.08	1.14 ± 0.13	✓
	13	180807	515	ЛН-6	19.2 ± 1.2	21.2 ± 1.2	14.6 ± 0.7	0.76 ± 0.06	1.10 ± 0.09	✓
	14	180878	575	ЛН-6	23.8 ± 1.3	22.9 ± 1.0	12.0 ± 0.5	0.51 ± 0.03	0.96 ± 0.07	✓
	15	180808	593	ЛН-6	18.4 ± 1.0	20.5 ± 1.1	13.3 ± 0.6	0.72 ± 0.05	1.11 ± 0.09	✓
	16	170806	623	ЛН-6	22.1 ± 1.3	38.0 ± 1.7	26.2 ± 1.1	1.18 ± 0.09	1.72 ± 0.13	✓
	17	180879	649	ЛН-6	25.5 ± 1.8	25.6 ± 1.6	14.4 ± 1.2	0.56 ± 0.06	1.00 ± 0.09	✓
	18	180809	666	ЛН-6	27.2 ± 1.7	32.6 ± 4.1	23.8 ± 3.0	0.88 ± 0.12	1.20 ± 0.17	✓
	19	180881	673	ЛН-7	37.3 ± 2.7	40.2 ± 3.0	22.8 ± 2.0	0.87 ± 0.09	1.54 ± 0.15	✓
	20	170807	727	ЛН-8	37.4 ± 3.1	44.3 ± 3.6	26.0 ± 2.3	0.70 ± 0.08	1.18 ± 0.14	✓
РГ	21	160801	80	РГ-1	9.6 ± 0.6	12.3 ± 0.8	8.1 ± 1.0	1.3 ± 0.1	0.8 ± 0.1	
	22	160803	172	РГ-3	16.5 ± 0.9	17.9 ± 1.0	14.0 ± 1.9	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.1	✓
	23	160804	196	РГ-4	16.6 ± 1.1	19.0 ± 0.9	11.2 ± 1.6	1.1 ± 0.1	0.7 ± 0.1	✓
	24	160805	238	РГ-4	16.9 ± 1.0	17.3 ± 0.9	10.9 ± 1.3	1.0 ± 0.1	0.6 ± 0.1	✓
	25	177741	256	РГ-5	21.7 ± 0.9	25.5 ± 1.0	н/д	1.2 ± 0.1	н/д	
	26	160806	261	РГ-5	18.6 ± 1.2	20.0 ± 0.9	13.7 ± 1.7	1.1 ± 0.1	0.7 ± 0.1	✓
	27	177742	266	РГ-6	23.9 ± 0.9	26.1 ± 0.9	н/д	1.1 ± 0.1	н/д	✓
СА	28	150501	40	СА-1	0.72 ± 0.04	н/д				
	29	150806	315	СА-2	13.1 ± 0.6	н/д				
	30	150807	450	СА-3	15.0 ± 1.0	н/д				
	31	150809	440	СА-7	27.2 ± 1.4	н/д				
	32	150810	592	СА-6	35.5 ± 2.2	н/д				

Примечание. Н – глубина отбора; Q – измерения по кварцу; Fk – калиевые полевые шпаты; pIRIR₂₉₀ – инфракрасно стимулированная люминесценция с измерением при нагреве до 290°C.

ются “вероятно обнуленными” в ходе геологического транспорта, а те, для которых соотношение pIRIR₂₉₀/ОСЛ ≤ 1.3, считаются “хорошо обнуленными”. Исходя из этих критериев, из 22 образцов, для которых получены оценки возраста по кварцу и по КПШ – 20 являются хорошо обнуленными. В остальных 4 образцах сигнал является “вероятно обнуленным”. Таким образом, для полученной хронологии образцы кварца были достаточно обнулены перед формированием осадка, и неопределенности, связанные с проблемой обнуле-

ния (и, таким образом, удреждения ОСЛ-возраста) не вносят существенного вклада в достоверность итоговых датировок. Хорошая сходимость большого количества измеренных аликвот для каждого образца, результаты стандартных тестов (восстановления дозы, температурного плато) указывают на высокую надежность полученной ОСЛ-хронологии для хвалыньских отложений Нижнего Поволжья.

Люминесцентные характеристики образцов, соотношения датировок по кварцу и КПШ, выво-

ды об обнулении сигнала могут косвенно указывать на условия осадконакопления. Так, изученные нами лёссовые отложения ательской свиты образовались в результате эолового привноса материала, что предполагает длительное воздействие дневного света (Költringer et al., 2021a). Морские отложения, представленные в разрезах, судя по характеристике слоистости и размеру зерен, были образованы в спокойной (малодинамичной) обстановке и поэтому могли не иметь возможности для воздействия солнечного света после попадания в Каспийское море. Несмотря на это, даже сигнал $pIRIR_{290}$ в КПШ почти полностью обнулен, хотя для этого требуется достаточно длительное воздействие света. Материал, формирующий отложения в северной части Каспийского моря, почти полностью поставляется Волгой, которая дренирует Восточно-Европейскую равнину, покрытую средне- и верхнечетвертичными моренами, то есть переносит вещество из Скандинавии и Уральских гор (Költringer et al., 2022; Tudryn et al., 2016). Таким образом, большая часть мелкозернистого и илистого материала переносилась на значительные расстояния и, вероятно, многократно перерабатывалась в водном потоке до окончательного осаждения, т.е. представляется весьма вероятным, что материал, слагающий морские каспийские отложения в изученных разрезах, был обнулен в момент осадконакопления.

Результаты датирования

Для нижнехвалынских отложений всего получено 32 даты (см. табл. 1). В разрезе Средняя Ахтуба из прослая песков с хвалынскими раковинами *Didacna protracta* и *D. ebersini* (слой 3) получена дата 15.0 ± 0.7 тыс. л. н. Образец выше (слой СА-2) охарактеризован возрастом 13.1 ± 0.6 тыс. л. н. Возраст современной каштановой почвы определен по образцу из горизонта А и составляет 0.72 ± 0.04 тыс. л. н. Шоколадные глины с размывом залегают на горизонте лёсса. Здесь отмечается размыв палеопочвы, в разрезе сохранена лишь нижняя часть профиля. Этот интересный факт не позволяет точно определить мощность размыва в ходе трансгрессии, так как над размытой почвой мог располагаться горизонт лёсса, однако исходя из особенностей строения профиля почвы, можно оценить размыв как минимум 30 см (Makeev et al., 2021). По-видимому, мощность размыва была существенно больше, так как дата определяет возраст палеопочвы в 10 см ниже границы размыва в 27.2 ± 1.4 тыс. л. н.

В Райгороде нижняя часть хвалынских отложений (слой РГ-4) охарактеризована тремя датами, которые дают близкие значения около 16–17 тыс. л. н. Возраст основания каштановой почвы 9.6 ± 0.6 тыс. л. н. может быть не совсем точным. Для этого образца (160801) соотношение

$pIRIR_{290}/Q$ равно 1.3, что указывает на то, что кварц, по-видимому, был достаточно обнулен. Однако осадок в основании почвы представляет собой смесь биотурбированной морской глины и лёссового материала, что не позволяет исключить возможность переработки компонента морской глины таким образом, что в большей степени сохранялась палеодоза предыдущего цикла. Этот осадок, однако, был хорошо перемешан с поступавшим сверху лёссовым материалом, в результате чего итоговый возраст оказался моложе нижележащих морских глин. Для верхней части лёссов (слой 5) получено три даты, одна из которых (18.6 ± 1.2) выбивается, при этом все три даты пересекются с учетом доверительных интервалов. Отмечается хиатус между основанием ШГ (16.9 ± 1.0) и верхом лёссов (21.7 ± 0.9), который составил ~5 тыс. л.

Типичные ШГ в разрезе Ленинск (слои 2–5) имеют возраст от 17.4 ± 1.0 (170805) до 14.0 ± 0.8 тыс. л. н. (180803), что хорошо согласуется с данными из Райгорода и Средней Ахтубы. Дата из самого верха слоя ЛН-2 9.8 ± 0.7 тыс. л. н. на границе с суглинком современной почвы является, на наш взгляд, омоложенной в результате биотурбации. Особый интерес представляет возраст нижележащей толщи горизонтально-слоистых серых глин и песков (слой ЛН-6). Полученные шесть датировок позволяют оценить время формирования этой толщи в период 27.2–19.9 тыс. л. н. Здесь отмечается наличие одной явной инверсии (180808), в то же время верхний образец (180878), по-видимому, также несколько удревлен. Это связано, как уже было указано выше, со сложностью оценки мощности бета-дозы и занижением ее в результате отбора проб из слоистых отложений, когда мощность прослев составляет 2–3 см. Два образца из подстилающих лёссов и палеопочвы (слои ЛН-7 и ЛН-8) имеют возраст 37.2 ± 2.7 и 37.4 ± 3.1 тыс. л. н. Наконец, горизонт А современной каштановой почвы имеет возраст 1.2 ± 0.1 тыс. л. н., а на глубине 55 см – 5.0 ± 0.4 тыс. л. н.

Таким образом, нижнехвалынские отложения в изученных разрезах представлены пачкой прибрежно-морских осадков (слой ЛН-6) и горизонтом шоколадных глин. Переслаивающиеся супеси и суглинки в основании хвалынских отложений формировались в период 27.2–19.9 тыс. л. н. Возраст шоколадных глин в изученных разрезах составил: 16.9–16.5 (Райгород), 15.0–13.1 (Средняя Ахтуба), 15.3–12.5 (Ленинск) тыс. л. н. Согласие результатов ОСЛ с данными радиоуглеродного анализа, высокая сходимость возрастов по кварцу и полевым шпатам, соответствие результатов внутренних тестов принятым в люминесцентном датировании стандартам указывают на высокую достоверность полученной хронологии.

Новые данные о строении ШГ и детальное датирование отложений позволяет по-новому взглянуть на хронологию этапов развития хвалынской трансгрессии. Учет гипсометрического положения отдельных подфаций внутри толщи ШГ позволяет приблизительно реконструировать уровень моря во время их формирования. Несмотря на то, что здесь нет слоев, которые можно было бы уверенно соотносить с фациями, которые формируются вблизи береговой линии (пляжевые пески, береговые валы и др.), особенности формирования ШГ глин, тем не менее, позволяют судить об уровне моря во время их накопления. Так, само наличие осадка на определенном гипсометрическом уровне при наличии дат из этого слоя, позволяет говорить о том, что каспийские воды уже достигли этой высоты, и уровень бассейна был не ниже зафиксированных отметок. Так, к примеру, в Ленинске отмечается смена условий седиментации с субаэральных на субаквальные ~27 тыс. л. н., что указывает на то, что уровень моря уже достиг отметки 4.7 м абс. в это время. Другим косвенным показателем положения береговой линии являются хиатусы, которые выделяются в верхней части лёссов в Ленинске и Средней Ахтубе. Разница в датах из кровли лёссов и подошвы ШГ позволяет оценить временной промежуток лёссонакопления, размытого в результате береговых процессов. Причем, по-видимому, на тех участках, где береговая линия располагалась дольше, с характерными для Каспия незначительными годовыми колебаниями уровня, мощность размыта субаэральных отложений должна быть большей.

Этапы развития хвалынской трансгрессии в Нижнем Поволжье

Результаты датирования подтверждают имеющиеся данные об относительно молодом (27–14 тыс. л. н.) возрасте трансгрессивной стадии раннехвалынской эпохи, когда слои глин в северной части Нижнего Поволжья откладывались в прибрежно-морских условиях и на подводном береговом склоне обширного хвалынского бассейна. Уточнение строения хвалынских отложений в изученных разрезах, выделение четырех фаций ШГ, новые результаты люминесцентного датирования (см. рис. 3) позволяют более детально реконструировать историю развития раннехвалынской трансгрессии в северной части Нижнего Поволжья и выделить ряд этапов.

1. Этап первоначального проникновения каспийских вод в район Ленинска. Выражен основанием горизонта прибрежно-морских суглинков и песков серого цвета (слой ЛН-6). Береговая линия достигла Ленинска около 27 тыс. л. н. на абс. высоте ~5 м. В Средней Ахтубе этот этап подъема уровня отражен в виде прослоев аллювиального песка (слой СА-8) — результата меандрирования

русел в образовавшейся новой дельте из-за подпора морскими водами около 30–35 тыс. л. н. (Янина и др., 2017). В Ленинске при первоначальном проникновении каспийских вод произошел размыв верхней части лёссово-почвенных серий. В сновании хвалынской толщи Ленинска получена дата 27.2 ± 1.7 тыс. л. н., в то время как для верхов ательского лёсса — 37.3 ± 2.7 , что указывает на хиатус ~10 тыс. л. н. Полученные ранее детальные данные о времени формирования ательских отложений этого разреза (Kurbanov et al., 2022) позволяют оценить скорость лёссонакопления в МИС 3 в ~15 см/тыс. л., и, таким образом, оценить мощность размыта не менее ~150 см. В это время, по-видимому, подъем уровня моря был незначительным по скорости, происходило постепенное затопление поверхности, сопровождавшееся активизацией береговых процессов и абразии легкоразмываемых лёссовидных суглинков.

2. Этап стабилизации уровня хвалынского бассейна с незначительным его подъемом не менее чем на 2.3 м (с ~5 до 7 м абс.) за 6.6 тыс. л. (27.2–19.9 тыс. л. н.). В это время формировались серые суглинки и пески в Ленинске (ЛН-6). Строение отложений, их гипсометрическое положение и возраст указывают на формирование этой фации хвалынских отложений в условиях первоначального проникновения вод в северную часть Нижнего Поволжья: переслаивание выраженных прослоев суглинков, глин и песков отражает значительную динамику условий осадконакопления, которая зависела от степени активности флювиальных и береговых процессов. Особенности строения толщи позволяют реконструировать прибрежно-морские условия, в это время береговая линия располагалась вблизи разреза, а условия седиментации испытывали частую смену от лиманно-морских (формируются прослой глин) до устьевых (супесь и косослойистый тонкий песок). Этапы активного влияния Волги в районе расположения береговой линии раннехвалынского бассейна отразились в прослоях, обогащенных песчаным материалом, в то время как глинистые прослой отражают более спокойные условия подводного берегового склона мелководного эстуария. Уровень бассейна был нестабильный, с частыми колебаниями, но общей тенденцией к росту. Эта фация хвалынских отложений представлена только в расположенном на более низком гипсометрическом уровне Ленинске, здесь переход в вышележащие шоколадные глины постепенный, однако отмечается граница перехода на глубине ~7.0 м.

3. Этап резкого подъема уровня раннехвалынского бассейна. Основание ШГ отражает резкий подъем уровня моря, когда в его начальные фазы формировались фации, содержащие большое количество прослоев песка и алевроита (слой РГ-4 в Райгороде, СА-5 в Средней Ахтубе и ЛН-5 в Ленинске). В ходе перемещения береговой линии

произошел размыв ательских лёссово-почвенных серий в разрезах Средняя Ахтуба и Райгород. При достижении Райгорода береговая линия смещалась с большой скоростью, без промежутков стабилизации уровня, что, по-видимому, не позволило волновым процессам осуществить значительный размыв поверхности затопляемой равнины, об этом свидетельствует близость датировок из основания шоколадных глин (16.9 ± 1.0) и кровли лёссов (18.6 ± 1.2) в этом разрезе. В Средней Ахтубе размыв был более значительный, однако из-за отсутствия дат в основании слоя СА-5 нет возможности определить разницу в возрасте. Результаты датирования высокого разрешения в Средней Ахтубе (Hojsager, 2019) указывают на хиатус около 5–6 тыс. л., что, с учетом скорости осадконакопления ~ 10 см/тыс. л., позволяет реконструировать размыв поверхности ательских лёссов в ~ 50 см. Начало этого стремительного подъема уровня моря с 7.0 м абс. отмечается в районе 17 тыс. л. н. (переход от слоев ЛН-6 к ЛН-5). Учитывая наличие хиатуса в Средней Ахтубе, где ШГ начали формироваться на более низком уровне 10.8 м абс., и его отсутствие в Райгороде, где подошва ШГ фиксируется на высоте 11.2 м абс., можно говорить о нарастающих скоростях подъема уровня моря: в Средней Ахтубе береговая линия в это время сохранялась дольше, что выразилось в более значительном размыве лёссовых пород.

4. Этап максимального подъема уровня раннехвалынского бассейна. Скорость подъема уровня моря увеличилась в период около 15.8–15.0 тыс. л. н. Стремительный подъем и перемещение береговой линии далее на север от изученных разрезов, когда увеличение глубины бассейна выразилось в прекращении поступления песчаных частиц и алевролита. В понижениях дохвалынского рельефа в это время активно формировались монотонные глины (слои ЛН-4 и СА-4, в Райгороде не выражены, видимо из-за более высокого гипсометрического положения этого участка). Эти отложения в средней части шоколадных глин отражают этап наибольшего распространения хвалынского бассейна, когда, в соответствии с классическими представлениями о максимальном уровне моря (Рычагов, 1997; Свиточ, 2014), береговая линия достигла 45–50 м абс. Таким образом, средняя часть шоколадных глин в изученных разрезах формировалась, когда глубина воды в эстуарии Волги составляла около ~ 36 м (Ленинск, положение слоя ЛН-4 на высотах 8.6–9.3 м абс.) и ~ 35 м (Средняя Ахтуба, положение слоя СА-5 на высотах 10.8–11.2 м абс.) в интервале времени около 15.8–15.0 тыс. л. н., на этапе максимального подъема уровня хвалынского бассейна.

5. Этап снижения уровня — ~ 15 –14 тыс. л. н. Верхняя часть ШГ, представленная фацией ритмичного переслаивания глин и тончайших про-

пластов алевролита, отражает снижение уровня раннехвалынского бассейна. В изученных обнажениях активная фаза падения уровня фиксируется появлением песчаных прослоев с раковинами моллюсков, это указывает на две различные по характеру фазы деградации бассейна. Согласно полученной хронологии, первая фаза проходила стремительно, с высокими скоростями падения уровня моря и перемещения береговой линии на юг — в изученных разрезах это фиксируется по увеличению поступления песка и алевролита. Завершение этой фазы отмечается по самому нижнему прослою с морской фауной в Ленинске (9.4 м абс.). В дальнейшем накопление верхней части шоколадных глин происходило уже в условиях опресненного эстуария и контролировалось Волгой, что выразилось в характерной ритмичности осадка. Глубина этого эстуарного бассейна постепенно снижалась. Дата 13.1 ± 0.6 тыс. л. из верхней части слоя СА-2, скорее всего, является несколько омоложенной (возможно из-за влияния биотурбации и привноса более молодого материала из вышележащего слоя), как и дата 9.8 ± 0.7 тыс. л. из верхов слоя ЛН-2. Таким образом, окончательный уход хвалыньских вод из северной части Нижнего Поволжья произошел около 14 тыс. л. н. (чуть позднее 14.0 ± 0.8 тыс. л. н. — самой даты по ШГ в разрезе Ленинск на высоте 10.3 м абс.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение хвалыньских отложений в трех разрезах Нижнего Поволжья позволило разработать первую для Каспийского региона детальную абсолютную хронологию, характеризующую отдельные фазы развития раннехвалыньской трансгрессии. В исследованных разрезах впервые выделено три фации шоколадных глин, которые формировались в весьма специфических палеогеографических условиях: в Прикаспийской низменности развивался обширный залив, с глубоким эстуарием по долине Волги, где, в зависимости от положения береговой линии, доминировали, сменяя друг друга, флювиальные и береговые процессы. Учет этих особенностей региона, палеогеоморфологического положения разрезов, деталей строения толщ, позволил определить характер осадконакопления для каждой из выделенных фаций хвалыньских отложений. Выделены слои: (1) формировавшиеся в условиях первоначально проникновения хвалыньских вод в северную часть Нижнего Поволжья, (2) в период начала активного подъема уровня моря, (3) в момент максимального распространения бассейна и (4) в этап падения уровня моря и отступления береговой линии.

ОСЛ-датирование позволило реконструировать время первоначального проникновения каспийских вод в район Ленинска ~ 27 тыс. л. н.,

когда морские воды достигли ~5 м абс. В период 27–20 тыс. л. н. отмечается относительная стабилизация и незначительный подъем уровня с ~5 до 7 м абс., т.е. за ~6.6 тыс. л. произошел подъем уровня бассейна не менее чем на 2 м. Около 17 тыс. л. н. начинается период активного подъема уровня, а в период 16–15 тыс. л. н. происходит стремительный подъем, в это время раннехвалынский бассейн должен был достигнуть максимальных размеров, а береговая линия переместилась далеко на север до уровня ~45–50 м абс. (согласно классическим представлениям). С 15 тыс. л. н. в раннехвалынском бассейне начинается регрессивная тенденция, и в период 15–14 тыс. л. н. уровень моря падает с максимальных значений до ~11 м абс.

Детальное ОСЛ-датирование хвалынских осадков и подстилающих их субаэральных отложений ательской свиты впервые позволило выявить наличие и продолжительность hiatus в позднелайстоценовой летописи Нижнего Поволжья. Так, в верхней части лёссово-почвенных серий в Ленинске выделен hiatus ~10 тыс. л., в разрезе Средняя Ахтуба отмечается hiatus около 5–6 тыс. л.

Учет скоростей лёссонакопления для каждого из разрезов позволил впервые определить масштаб денудации при затоплении хвалынскими водами территории Прикаспийской низменности. Так, в Ленинске мощность размыва составила ~150 см, а в Средней Ахтубе денудацией была затронута верхняя часть ательских лёссов мощностью ~50 см. Эти данные, совместно с анализом распределения датировок, позволили уточнить характер и длительность абразионных процессов на берегах раннехвалынского моря, и косвенно говорить о длительности расположения береговой линии в отдельные периоды развития трансгрессии.

Корреляция выделенных этапов развития раннехвалынской трансгрессии с разработанной ранее стадийной историей хвалынского бассейна (Рычагов, 1997) может быть выполнена после получения новых данных о возрасте хвалынских отложений в пределах каспийского побережья в Туркменистане, Азербайджане и Дагестане. Молодой (15.8–15.0 тыс. л. н.) возраст максимальной фазы крупнейшей позднечетвертичной трансгрессии Каспия в настоящее время служит основой для дальнейших палеогеографических исследований, в том числе выявления причин, механизмов и последствий такого экстремального повышения уровня моря (с ~7 до ~45–50 м абс.) за время около 1 тыс. л.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда: проекты № 16-17-10103 (поле-

вые работы в 2016 и 2017 гг.), № 17-77-10134 (полевые работы в 2018 г. и аналитические исследования) и № 19-77-10077 (абсолютное датирование).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны анонимным рецензентам за ценные замечания, A.S. Murray, J.-P. Buylaert, W. Tompson за помощь в получении датировок, A.V. Panin, M.P. Lebedeva и E.N. Badyukova за обсуждение результатов датирования и рекомендации.

FUNDING

This study was supported by the Russian Science Foundation, projects nos. 16-17-10103 (field work in 2016 and 2017), 17-77-10134 (field work in 2018 and analytical studies) and 19-77-10077 (absolute dating).

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to A.S. Murray, J.-P. Buylaert, W. Tompson for help during luminescence dating, A.V. Panin, M.P. Lebedeva, and E.N. Badyukova for discussion of dating results and valuable recommendations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андрусов Н.И. О геологических исследованиях в Закаспийской области, произведенных в 1887 г. // Тр. Арало-Касп. экспед. 1889. Вып. 6.
- Бадюкова Е.Н. Возраст хвалынских трансгрессий Каспийского моря // Океанология. 2007. Т. 47. № 3. С. 432–438.
- Бадюкова Е.Н. Колебания уровня Каспийского моря в неоплейстоцене (была ли ательская регрессия?) // Океанология. 2021. № 61. С. 320–329.
- Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. Первые данные о радиоуглеродном возрасте ательских отложений Северного Каспия // ДАН. 2017. Т. 473. № 3. С. 327–330.
- 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.
- 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.
- Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А., Тудрин А., Шали Ф., Антипов М.П., Кураленко Н.П., Курина Е.Е., Тухолка П. Каспий: гидрологические события позднего квартала // Бюлл. Комиссии по изучению четвертич. периода. 2014. Вып. 73. С. 19–51.

- Макишев Р.Р., Ткач Н.Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 1. С. 37–54.
<https://doi.org/10.31857/S0435428123010108>
- Москвитин А.И. Плейстоцен Нижнего Поволжья // Труды ГИН АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 64. 263 с.
- Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
- Рычагов Г.И. Хвалынский этап в истории Каспийского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 4. С. 3–9.
- Свиточ А.А. Большой Каспий: строение и история развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. 272 с.
- Свиточ А.А. О природе хвалынской трансгрессии Каспия // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 304–311.
- Семиколенных Д.В., Курбанов Р.Н., Янина Т.А. Возраст хвалынского пролива в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2022. № 5. С. 103–112.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 163 с.
- Шаховец С.А. Хронология палеогеографических событий позднего плейстоцена Нижней Волги (по данным термолуминесцентного метода): Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1987. 24 с.
- Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н., Мюррей Э.С., Ткач Н.Т., Сычев Н.В. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 1. С. 21–29.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov F.E., Chernov S.B., Tertychniy N.I., Starikova A.A. On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coasts according to ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ methods // Quat. Int. 2016. Vol. 409. Part A. P. 81–87.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.05.067>
- Butuzova E.A., Kurbanov R.N., Taratunina N.A., Makeev A.O., Rusakov A.V., Lebedeva M.P., Murray A.S., Yanina T.A. Shedding light on the timing of the largest Late Quaternary transgression of the Caspian Sea // Quat. Geochronology. 2022. Vol. 73.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101378>
- Hojsgaard P. High-resolution optically stimulated luminescence dating at the type section Srednyaya Akhtubia, Russia. Master Thesis. Aarhus: Aarhus Univ., Dep. of Geosci., 2019. 100 p.
- Költringer C., Bradák B., Stevens T., Almquist B., Banak A., Linder M., Kurbanov R., Snowball I. et al. Paleoenvironmental implications from Lower Volga loess – Joint magnetic fabric and multi-proxy analyses // Quat. Sci. Rev. 2021. Vol. 267.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107057>
- Költringer C., Stevens T., Bradák B., Almquist B., Kurbanov R., Snowball I., Yarovaya S. Environmental study of Late Quaternary environmental evolution in Lower Volga loess sequences, Russia // Quat. Res. 2021. Vol. 103. P. 49–73.
<https://doi.org/10.1017/qua.2020.73>
- Költringer C., Stevens T., Lindner M., Baykal Y., Ghafarpour A., Khormali F., Taratunina N., Kurbanov R. Quaternary sediment sources and loess transport pathways in the Black Sea–Caspian Sea region identified by detrital zircon U–Pb geochronology // Global and Planetary Change. 2022. Vol. 209.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103736>
- Kurbanov R.N., Buylaert J.-P., Stevens T., Taratunina N.A., Belyaev V.R., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Solodovnikov D., Költringer C., Rogov V.V., Streletskaya I.D., Murray A.S., Yanina T.A. A detailed luminescence chronology of the Lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk // Quat. Geoch. 2022. Vol. 73.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101376>
- Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., Yanina T. First reliable chronology for the early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // Boreas. 2021. Vol. 50. № 1. P. 134–146.
<https://doi.org/10.1111/bor.12478>
- Kurbanov R.N., Svitoch A.A., Yanina T.A. New data on marine Pleistocene stratigraphy of the Western Cheleken peninsula // Doklady Earth Sci. 2014. Vol. 459. P. 1623–1626.
- Lebedeva M., Makeev A., Rusakov A., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R., Kust P., Varlamov E. Landscape dynamics in the Caspian Lowlands since the last deglaciation reconstructed from the pedosedimentary sequence of Srednyaya Akhtubia, southern Russia // Geosciences. 2018. Vol. 8. № 492. P. 1–21.
<https://doi.org/10.3390/geosciences8120492>
- Leroy S.A.G., Tudryn A., Chalié F., López-Merino L., Gasse F. From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea // Quat. Sci. Rev. 2015. Vol. 78. P. 77–97.
- Makeev A., Lebedeva M., Kaganova A., Rusakov A., Kust P., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R. Pedosedimentary environments in the Caspian Lowland during MIS5 (Srednyaya Akhtubia reference section, Russia) // Quat. Int. 2021. Vol. 590. P. 164–180.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.015>
- Makshaev R.R., Svitoch A.A. Chocolate clays of the northern Caspian Sea region: distribution, structure, and origin // Quat. Int. 2016. Vol. 409. Part A. P. 44–49.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.018>
- Mamedov A.V. The Late Pleistocene–Holocene history of the Caspian Sea // Quat. Int. 1997. Vol. 41–42. P. 161–166.
- 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. Vol. 47. P. 688–695.
- Taratunina N.A., Buylaert J.P., Kurbanov R.N., Yanina T.A., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Utkina A.O., Murray A.S. Late Quaternary evolution of lower reaches of the Volga River (Raygorod section) based on luminescence dat-

- ing // *Quat. Geoch.* 2022. Vol. 72.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101369>
- Taratunina N., Rogov V., Streletskaia I., Thompson W., Kurchatova A., Yanina T., Kurbanov R. Late Pleistocene cryogenesis features of a loess-paleosol sequence in the Srednyaya Akhtuba reference section, Lower Volga River valley, Russia // *Quat. Int.* 2021. Vol. 590. P. 56–72.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.015>
- Tudryn A., Leroy S.A.G., Toucanne S., Gibert-Brunet E., Tucholka P., Lavrushin Y.A., Dufaure O., Miska S., Bayon G. The Ponto-Caspian basin as a final trap for south-eastern Scandinavian Ice-Sheet meltwater // *Quat. Sci. Rev.* 2016. Vol. 148. P. 29–43.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // *Quat. Int.* 2018. Vol. 465. Part A. P. 130–141.
- Yanina T.A. Environmental variability of the Ponto-Caspian and Mediterranean basins during the last climatic macrocycle // *Geography, Environment, Sustainability.* 2020. № 13 (4). P. 6–23.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-120>
- Zastrozhnov A., Danukalova G., Golovachev M., Titov V., Osipova E., Simakova A., Yakovlev A., Yakovleva T., Aleksandrova G., Shevchenko A., Murray A., Tesakov A., Sadikhov E. Biostratigraphical investigations as a tool for palaeoenvironmental reconstruction the Neopleistocene (Middle-Upper Pleistocene) at Kosika, Lower Volga, Russia // *Quat. Int.* 2020. Vol. 540. P. 38–67.

New Data on the Age of the Early Khvalynian Transgression of the Caspian Sea

R. N. Kurbanov^{1, 2, *}, V. R. Belyaev¹, M. I. Svistunov², E. A. Butuzova², D. A. Solodovnikov³,
 N. A. Taratunina^{1, 2}, and T. A. Yanina¹

¹*Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Volgograd State University, Volgograd, Russia*

*e-mail: kurbanov@igras.ru

This study presents results of the first detailed absolute chronology of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea based on optically stimulated luminescence (OSL) dating. Study was carried out for special facies of the Khvalynian deposits—Chocolate Clays, widely distributed in the Northern Caspian Lowland. In the studied reference sections of the Lower Volga region (Srednyaya Akhtuba, Raygorod, Leninsk), Chocolate Clays are of considerable thickness, three subfacies are distinguished in their structure: a unit of interbedded sands and loams; unit of unified dense clays; and a unit of characteristic clays with thin interlayers of silt, forming a characteristic fine-platy structure. The first unit reflects the conditions of the initial penetration of the Khvalynian waters into the studied area, the second unit reflects conditions of a deep-sea bay, while the third unit reflects the time of regression, with a significant influence of alluvial processes on sedimentation. OSL chronology was obtained for both quartz and feldspar grains using modern measuring protocols. Our dating results clearly indicate that formation of the Lower Khvalynian marine deposits in the northern part of the Lower Volga region took place between 27 and 14 ka. New data on the age of the Khvalynian deposits are further confirmed by dating of the overlying Kastanozem soils (9.6–0.7 ka) and the underlying loess-paleosol series (37–19 ka). High-resolution luminescence dating for the first time distinguished four stages in the development of the Khvalynian transgression in the Lower Volga region: the initial penetration of waters to a level of ~5 m (27 ka); stage of stabilization and gradual level rise from ~5 to ~7 m (27–20 ka); the stage of active sea level rise and movement of the coastline northward (16–15 ka); and the final regressive phase with a drop in sea level (15–14 ka).

Keywords: Khvalynian transgression, Caspian Sea, sea-level change, OSL dating, quartz, feldspar, chronology, Chocolate Clays

REFERENCES

- Andrusov N.I. *O geologicheskikh issledovaniyakh v Zakaspiiskoi oblasti, proizvedennykh v 1887 g.* [On Geological Research in the Transcaspiian Region, Carried Out in 1887]. *Tr. Aralo-Kasp. Eksped.*, 1889, vol. 6.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov F.E., Chernov S.B., Ter-tychnyi N.I., Starikova A.A. On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coasts according to ¹⁴C and ²³⁰Th/²³⁴U methods. *Quat. Int.*, 2016, vol. 409, part A, pp. 81–87.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.05.067>
- Badyukova E.N. The age of the Khvalynian transgressions of the Caspian Sea. *Okeanologiya*, 2007, no. 47, pp. 432–438. (In Russ.).
- Badyukova E.N. Caspian Sea Level Fluctuations in the Neopleistocene (Was There an Atelian Regression?). *Okeanologiya*, 2021, no. 61 (2), pp. 283–291. (In Russ.).
- Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., Yanina T.A. First data on the radiocarbon age of the Atelian

- deposits in the North Caspian region. *Dokl. Earth Sci.*, 2017, no. 473, pp. 277–280.
- Butuzova E.A., Kurbanov R.N., Taratunina N.A., Makeev A.O., Rusakov A.V., Lebedeva M.P., Murray A.S., Yanina T.A. Shedding light on the timing of the largest Late Quaternary transgression of the Caspian Sea. *Quat. Geochronol.*, 2022, vol. 73. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101378>
- Fedorov P.V. *Pleistotsen Ponto-Kaspiya* [Pleistocene of the Ponto-Caspian Region]. Moscow: Nauka Publ., 1978. 163 p.
- Højsager P. High-resolution optically stimulated luminescence dating at the type section Srednyaya Akhtuba, Russia. Master Thesis. Aarhus: Aarhus Univ., Dep. of Geosci., 2019. 100 p.
- Költringer C., Bradák B., Stevens T., Almquist B., Banak A., Linder M., Kurbanov R., Snowball I. et al. Paleoenvironmental implications from Lower Volga loess – Joint magnetic fabric and multi-proxy analyses. *Quat. Sci. Rev.*, 2021, vol. 267, p. 107057. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107057>
- Költringer C., Stevens T., Bradák B., Almquist B., Kurbanov R., Snowball I., Yarovaya S. Enviromagnetic study of Late Quaternary environmental evolution in Lower Volga loess sequences, Russia. *Quat. Res.*, 2021, vol. 103, pp. 49–73. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.73>
- Költringer C., Stevens T., Lindner M., Baykal Y., Ghafarpour A., Khormali F., Taratunina N., Kurbanov R. Quaternary sediment sources and loess transport pathways in the Black Sea–Caspian Sea region identified by detrital zircon U–Pb geochronology. *Glob. Planet Change*, 2022, vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103736>
- Kurbanov R.N., Buylaert J.-P., Stevens T., Taratunina N.A., Belyaev V.R., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Solodovnikov D., Költringer C., Rogov V.V., Streletskaya I.D., Murray A.S., Yanina T.A. A detailed luminescence chronology of the Lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk. *Quat. Geochronol.*, 2022, vol. 73. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101376>
- Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., Yanina T. First reliable chronology for the early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley. *Boreas*, 2021, vol. 50, no. 1, pp. 134–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.1111/bor.12478>
- Kurbanov R.N., Semikolennykh D.V., Yanina T.A., Tyunin N.A., Murray A.S. New data on the age of the Karaman transgression of the Black Sea. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2020, no. 6, pp. 139–145. (In Russ.).
- Kurbanov R.N., Svitoch A.A., Yanina T.A. New data on marine Pleistocene stratigraphy of the Western Chelek-en peninsula. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, no. 459, pp. 1623–1626.
- Kurbanov R.N., Ulyanov V.A., Anoykin A.A., Pavlenok G.D., Semikolennykh D.V., Kharevich V.M., Taymagambetov Zh.K., Murray A.S. The first luminescence chronology of the initial Upper Paleolithic of Eastern Kazakhstan (case study of the Ushbulak archaeological site). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2021, no. 5, pp. 131–148. (In Russ.).
- Lavrushin Yu.A., Spiridonova E.A., Tudryn A., Chalié F., Antipov M.P., Kuralenko N.P., Kurina E.E., Tucholka P. The Caspian Sea: hydrological events of the Late Quaternary. *Bull. Kom. po Izuch. Chetv. Per.*, 2014, no. 73, pp. 19–51. (In Russ.).
- Lebedeva M., Makeev A., Rusakov A., Romanis T., Yanina T.A., Kurbanov R., Kust P., Varlamov E. Landscape dynamics in the Caspian Lowlands since the last deglaciation reconstructed from the pedosedimentary sequence of Srednyaya Akhtuba, southern Russia. *Geosci.*, 2018, vol. 8, no. 492, pp. 1–21. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120492>
- Leroy S.A.G., Chalié F., López-Merino L., Gasse F. From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea. *Quat. Sci. Rev.*, 2015, vol. 78, pp. 77–97. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.032>
- Makeev A., Lebedeva M., Kaganova A., Rusakov A., Kust P., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R. Pedosedimentary environments in the Caspian Lowland during MIS5 (Srednyaya Akhtuba reference section, Russia). *Quat. Int.*, 2021, vol. 590, pp. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.015>
- Makshaev R.R., Svitoch A.A. Chocolate clays of the northern Caspian Sea region: distribution, structure, and origin. *Quat. Int.*, 2016, vol. 409, part A, pp. 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.018>
- Makshaev R.R., Tkach N.T. Chronology of Khvalynian stage of the Caspian Sea according to radiocarbon dating. *Geom. i Paleog.*, 2023, vol. 54, no. 1, pp. 37–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0435428123010108>
- Mamedov A.V. The Late Pleistocene–Holocene history of the Caspian Sea. *Quat. Int.*, 1997, vol. 41–42, pp. 161–166.
- Moskvitin A.I. *Pleistotsen Nizhnego Povolzh'ya* [Pleistocene of the Lower Volga Region]. Moscow: Tr. GIN 64, 1962. 263 p.
- 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. *Radiat. Meas.*, 2012, vol. 47, pp. 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.05.006>
- Rychagov G.I. *Pleistotsenovaya istoriya Kaspiiskogo morya* [Pleistocene History of the Caspian Sea]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1997. 267 p.
- Rychagov G.I. Khvalynian epoch in the history of the Caspian Sea. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2014, no. 4, pp. 3–9. (In Russ.).
- Semikolennykh D.V., Kurbanov R.N., Yanina T.A. Age of the Khvalynian straight in the Late Quaternary of the Manych Depression. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2022, no. 5, pp. 103–112.
- Shakhovets S.A. Chronology of Paleogeographical Events of the Late Pleistocene of the Lower Volga (According to the TL Method). *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1987. 24 p.

- Svitoch A.A. About the nature of the Khvalynian transgression of the Caspian Sea. *Okeanologiya*, 2007, no. 47, pp. 304–311. (In Russ.).
- Svitoch A.A. *Bol'shoi Kaspiy: stroenie i istoriya razvitiya* [Greater Caspian: Structure and Evolution History]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2014. 272 p.
- Taratunina N.A., Buylaert J.P., Kurbanov R.N., Yanina T.A., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Utkina A.O., Murray A.S. Late Quaternary evolution of lower reaches of the Volga River (Raygorod section) based on luminescence dating. *Quat. Geochronol.*, 2022, vol. 72. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101369>
- Taratunina N.A., Rogov V., Streletskaya I., Thompson W., Kurchatova A., Yanina T., Kurbanov R. Late Pleistocene cryogenesis features of a loess-paleosol sequence in the Srednyaya Akhtuba reference section, Lower Volga River valley, Russia. *Quat. Int.*, 2021, vol. 590, pp. 56–72. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.015>
- Tudryn A., Leroy S.A.G., Toucanne S., Gibert-Brunet E., Tucholka P., Lavrushin Y.A., Dufaure O., Miska S., Bayon G. The Ponto-Caspian basin as a final trap for southeastern Scandinavian Ice-Sheet meltwater. *Quat. Sci. Rev.*, 2016, vol. 148, pp. 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.06.019>
- Yanina T.A. Environmental variability of the Ponto-Caspian and Mediterranean basins during the last climatic macrocycle. *Geogr. Environ. Sustain.*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 6–23. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-120>
- Yanina T.A., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data). *Quat. Int.*, 2018, vol. 465, part A, pp. 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.003>
- Yanina T.A., Svitoch A.A., Kurbanov R.N., Murray A.S., Tkach N.T., Sychev N.V. Experience of dating of Pleistocene deposits of the Lower Volga area by method of optically stimulated luminescence. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 21–29. (In Russ.).
- Zastrozhnov A., Danukalova G., Golovachev M., Titov V., Osipova E., Simakova A., Yakovlev A., Yakovleva T., Aleksandrova G., Shevchenko A., Murray A., Tesakov A., Sadikhov E. Biostratigraphical investigations as a tool for palaeoenvironmental reconstruction the Neopleistocene (Middle-Upper Pleistocene) at Kosika, Lower Volga, Russia. *Quat. Int.*, 2020, vol. 540, pp. 38–67. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.11.036>