

## ИСТОРИЯ БЕЛОГО МОРЯ В ПАЛЕОАРХИВАХ ОЗЕР И БОЛОТ ЕГО ПОБЕРЕЖЬЯ

УДК 551.89

*Дорогому коллеге Василию Васильевичу Кольке (1957–2020),  
с благодарностью за участие в совместной экспедиции  
на Онежский полуостров Белого моря в 2014 г.*

### РЕКОНСТРУКЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ГУБА КОНЮХОВА, БЕЛОЕ МОРЕ) НА ОСНОВЕ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2022 г. П. А. Леонтьев<sup>a, \*</sup>, Д. А. Субетто<sup>a, b</sup>, Т. Ю. Репкина<sup>c, a</sup>, А. В. Лудикова<sup>d</sup>, Д. Д. Кузнецов<sup>d</sup>,  
Ю. А. Кублицкий<sup>a</sup>, Т. В. Сапелко<sup>d</sup>, Н. Е. Зарецкая<sup>c, e</sup>, В. М. Фирсенкова<sup>a</sup>, М. С. Потахин<sup>b, f</sup>,  
Л. С. Сырых<sup>a</sup>, Д. С. Толстобров<sup>g</sup>

<sup>a</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>c</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>d</sup>Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>e</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>f</sup>Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

<sup>g</sup>Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

\*e-mail: barograph@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 31.07.2022 г.

Принята к публикации 18.08.2022 г.

Выполнена реконструкция относительных изменений уровня моря на основе метода изолированных бассейнов и геоморфологических исследований. Выделено три геоморфологических уровня: моренная равнина, испытывавшая влияние позднеледниковой трансгрессии (24–30 м над ур. м.), преимущественно абразионная морская терраса, образовавшаяся в период трансгрессии среднего голоцена (14–17.5 м над ур. м.), абразионно-аккумулятивная морская терраса, сформировавшаяся во время регрессии позднего голоцена (7–10 м над ур. м.). На разных геоморфологических уровнях побережья губы Конюхова изучены донные отложения озер и болот. Представлены результаты литологического описания, анализа потерь при прокаливании, диатомового анализа и радиоуглеродного датирования образцов донных отложений оз. Конюховского (64.882° с.ш.; 36.586° в.д.) с урезом воды 15.8 м и порогом стока 17.0 м над ур. м. Результаты анализа донных отложений позволили реконструировать историю озера и изменения уровня Белого моря в голоцене. Впервые оз. Конюховское было изолировано в период раннеголоценовой регрессии ранее 10.2 тыс. кал. л. н. Морские условия и связь с Белым морем возникают в ходе трансгрессии Тапес ~9.0–8.8 тыс. кал. л. н. Относительный уровень моря в период максимума трансгрессии составлял ~17.5 м. Окончательное обособление оз. Конюховского произошло ранее 6.9–6.8 тыс. кал. л. н. в результате падения уровня моря ниже 17.0 м.

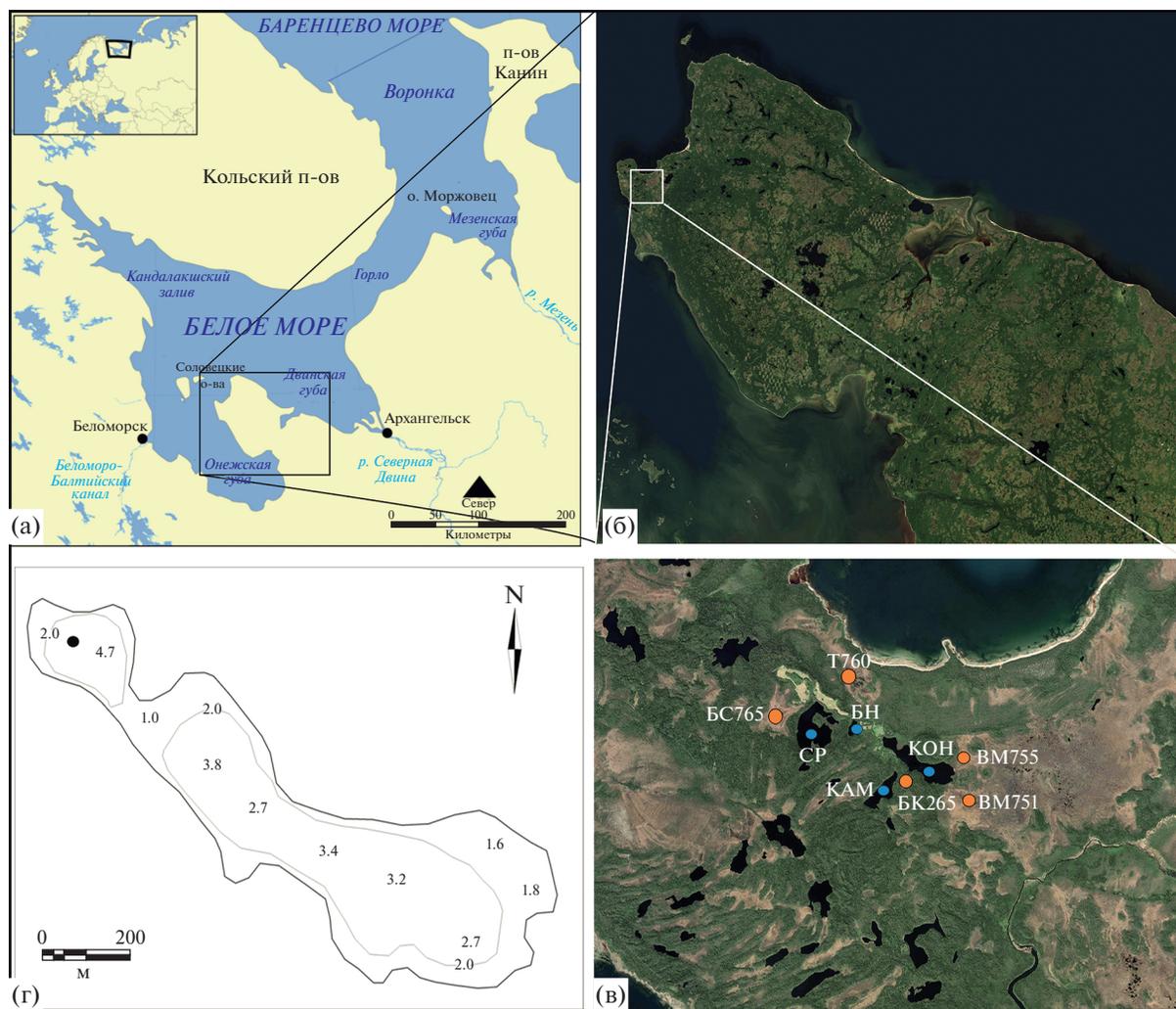
*Ключевые слова:* донные отложения озер, голоцен, Белое море, Онежский полуостров, изменения уровня моря, трансгрессия

DOI: 10.31857/S2587556622060097

#### ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения уровня Белого моря в голоцене остается актуальной и заключается в выявлении характера взаимодействия гляциоизостатических движений и эвстатических колебаний уровня Мирового океана. На отдельных

участках побережья гляциоизостатические поднятия были более интенсивными, чем подъем уровня моря, поэтому они раньше переходили к континентальному режиму развития, и на них формировались морские террасы. Такие локальные различия обусловлены блоковым строением



**Рис. 1.** Расположение разрезов донных отложений озер и болот побережья Губы Конюхова (а, б, в) и схема глубин оз. Конюховского (г) (черная точка – место отбора образцов). КОН – оз. Конюховское, СР – оз. Среднее, КАМ – оз. Каменное, БН – озеро без названия, ВМ 755 – скважина 755 на болоте Вензин Мох, ВМ 751 – скважина 751 на болоте Вензин Мох, БК265 – болото у оз. Каменное, BC765 – болото за оз. Среднее, Т760 – болото на морской террасе. Картографическая основа: <https://www.google.ru/maps>, <https://yandex.ru/maps>

котловины Белого моря, образовавшейся на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Таким образом, тектоническое строение во многом контролировало тренды гляциоизостатических движений и изменения относительного уровня моря. Отсюда возникает необходимость проведения комплексных исследований на каждом отдельном участке побережья.

С конца XX в. на побережье Белого моря проводятся исследования донных отложений малых озер с целью реконструкции относительного перемещения береговой линии моря и изменений природно-климатических обстановок (Колька и др., 2013; Субетто и др., 2012.; Lunpka и др., 2012). Исследования проводятся методом изолирован-

ных бассейнов с использованием комплексного палеолимнологического анализа.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В июле 2014 г. в ходе комплексной экспедиции, базировавшейся на научно-исследовательском судне “Эколог” Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, были проведены палеолимнологические и геоморфологические исследования в районе губы Конюхова на Онежском полуострове Белого моря (рис. 1).

Онежский полуостров расположен в южной части Белого моря, он разделяет Онежскую и Двинскую губы. Рельеф исследованной части полуострова представлен комплексом форм совре-

менной береговой зоны, голоценовыми морскими террасами и формами ледникового происхождения. Для реконструкции динамики береговой линии в послеледниковое время нами были изучены озера и болота на различных гипсометрических и геоморфологических уровнях.

**Полевые работы.** Полевые палеолимнологические исследования в районе губы Конюхова (к юго-западу от устья р. Летняя Золотица и одноименной деревни) включали рекогносцировку, определение высотного положения водоемов, выбор и визуальное обследование озер, уточнение отметок уреза воды и порогов стока, батиметрическую съемку (эхолот Lowrance LMS-480). Также выполнены отбор донных отложений выбранных озер русским торфяным буром с платформы и полевое литологическое описание.

Исследованы 4 озера (см. рис. 1в). Озеро Каменное ( $64.877^\circ$  с.ш.,  $36.576^\circ$  в.д.) с урезом воды 26.2 м над ур. м. состоит из нескольких котловин с максимальными глубинами около 14 м, в точке отбора образцов глубина составила 3 м. Озеро Среднее ( $64.887^\circ$  с.ш.,  $36.549^\circ$  в.д.) с урезом воды 17.1 м над ур. м. и максимальной глубиной около 16 м. Пробоотбор проводился с глубины 3.8 м в малом север-восточном плесе озера, отделенном от основной акватории, заросшей макрофитами, перемычкой. Озеро без названия ( $64.887^\circ$  с.ш.,  $36.566^\circ$  в.д.) с урезом воды около 16 м над ур. м., максимальной глубиной около 7 м, и оз. Конюховское ( $64.882^\circ$  с.ш.,  $36.586^\circ$  в.д.) с урезом воды 15.8 м над ур. м., максимальная глубина около 4.7 м, в месте отбора проб глубина составила около 4 м (см. рис. 1г).

Также изучены рельеф и отложения побережья. Для этого выполнены геоморфологическое профилирование прибрежных террас, а также ручное бурение и литолого-стратиграфическое описание отложений нескольких болот (Вензин Мох, болота за озерами Среднее и Каменное), расположенных на месте бывших заливов.

На побережье губы Конюхова было выделено три геоморфологических уровня (Леонтьев и др., 2015; Репкина и др., 2017): моренная равнина (24–30 м над ур. м.), преимущественно абразионная морская терраса (14–17.5 м над ур. м.), абразионно-аккумулятивная морская терраса (7–10 м над ур. м.).

Основным объектом настоящего исследования было выбрано оз. Конюховское, расположенное на абразионной террасе. Озеро вытянуто с СЗ на ЮВ на 1.4 км при средней ширине 0.22 км (максимальная – 0.37 км в ЮВ части). Средняя глубина составляет 2.3 м, максимальная – 4.7 м. Озерная котловина ледникового генезиса, занимает межморенное понижение. Согласно генетической классификации Ю.П. Пармузина (Парму-

зин, 1975) она относится к классу экзогенных котловин, типу гляциогенных котловин, подтипу моренных котловин. Берега сложены валунным материалом. ЮВ берег более низкий, торфянистый, примыкает к болоту Вензин Мох (17.5–19 м над ур. м.) с мощностью торфяной залежи до 1.8 м. На СЗ котловины в озеро впадает ручей, вытекающий из оз. Каменное. На северо-востоке котловины из озера вытекает ручей, впадающий в Белое море. Ручей прорезает проливную дельту (17 м над ур. м.), которая сформировалась в понижении бортов котловины во время трансгрессии Тапес (Репкина и др., 2017). Высота дельты над уровнем моря определяет положение порога стока озера (17 м над ур. м.), что выше современного уреза воды (15.8 над ур. м.).

**Лабораторные работы.** Анализ потерь при прокаливании (ППП) донных отложений озер Конюховского ( $550$  и  $950^\circ\text{C}$ ) и Среднего ( $550^\circ\text{C}$ ) и диатомовый анализ выполнены в Институте озероведения РАН. Радиоуглеродное датирование шести образцов донных отложений озера Конюховского выполнялось в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и Центре изотопных исследований Университета Джорджии (США) (табл. 1). Полученные даты были калиброваны в программе OxCal с использованием калибровочной кривой IntCal 2020 (Ramsey and Lee, 2013; Reimer et al., 2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В донных отложениях оз. Конюховского по литологическому составу выделены (рис. 2) следующие слои: 6.70–6.64 м – буровато-серый слоистый мелкозернистый глинистый песок, 6.64–6.55 м – темно-бурая детритовая слабоопесчаненная гиттия, 6.55–6.50 м – бурая однородная глинистая гиттия; 6.50–6.46 м – прослой грубой органики; 6.46–6.40 м – бурая однородная глинистая гиттия с прослоями органики; 6.40–5.70 м – серый глинистый алевролит; 5.70–5.46 м – переслаивание серой опесчаненной глины с бурыми органическими слоями; 5.46–5.34 м – бурая глинистая гиттия; 5.34–4.92 м – темно-бурая слоистая гиттия; 4.92–4.00 м – бурая однородная гиттия.

Данные, полученные при определении потерь массы при прокаливании образцов донных отложений оз. Конюховского (см. рис. 2) при  $550^\circ\text{C}$ , демонстрируют достаточно резкие колебания по профилю разреза (в пределах от 1.5 до 54%), которые отражают содержание органического вещества и могут свидетельствовать о значительных изменениях биопродуктивности водоема и, соответственно, климатических параметров. Потери при прокаливании при  $950^\circ\text{C}$  не превышают 5%.

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования образцов донных отложений

№	Источник	Название объекта, положение	Высота уреза воды озера/ болота над ур. м., $\frac{\text{м}}{17}$ , порог стока	Глубина озера, м	Глубина отбора образца, м		Материал для датирования	Индекс и номер образца	Радиоуглеродный возраст, $^{14}\text{C}$ л. н.	Калиброванный возраст, л. н. (1 $\sigma$ )	Координаты (с.ш., в.д.)
					от уреза воды	от поверхности осадка					
1	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{6.63-6.64}{2.63-2.64}$		Слабо-опесчаная дегритовая гиттия	IGAN <sub>AMS</sub> 5122 UGAMS 26074	9050 ± 30	10206–10234	64.881331, 36.587862
2	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{6.37-6.38}{2.37-2.38}$		Прослой органики в глинистой гиттии, перекрытой глинистым алевритом	IGAN <sub>AMS</sub> 5123 UGAMS 26058	7980 ± 30	8778–8981	64.881331, 36.587862
3	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{5.52-5.53}{1.52-1.53}$		Переслаивание опесчаной глины с органическими слоями	IGAN <sub>AMS</sub> 5124 UGAMS 26085	10610 ± 30	12565–12636	64.881331, 36.587862
4	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{5.34-5.35}{1.34-1.35}$		Растительные остатки в глинистой гиттии		6520 ± 30	7422–7460	64.881331, 36.587862
5	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{4.88-4.90}{0.88-0.90}$		Гиттия	IGAN <sub>AMS</sub> 5125 UGAMS 26055	6030 ± 30	6801–6929	64.881331, 36.587862
6	Данная публикация	Конюховское озеро	$\frac{15.8}{17}$	4.00	$\frac{4.34-4.36}{0.34-0.36}$		Гиттия	IGAN <sub>AMS</sub> 5126 UGAMS 26086	3480 ± 25	3701–3825	64.881331, 36.587862
7	Репкина и др., 2017, 2020	болото Вензин Мох (т. 755)	$\frac{17.8}{17.5}$	–	$\frac{-}{3.9-4.0}$		Сапрпель оторфованный на серых суглинках	ГИН-15203 GIN-15203	5420 ± 40	6207–6281	64.882569, 36.602558
8	Репкина и др., 2017, 2020	болото Вензин Мох (т. 751)	$\frac{18.8}{18.5}$	–	$\frac{-}{6.3-6.4}$		Торф на песке разнородном с гравием	ГИН-15202 GIN-15202	7420 ± 70	8182–8326	64.875596, 36.602600
9	Репкина и др., 2017	болото за оз. Среднее (т. 765)	24.8	–	$\frac{-}{7.7-7.8}$		Торф на суглинках сизо-серых с дресвой и щебнем	ГИН-15206 GIN-15206	7610 ± 70	8354–8459	64.888358, 36.536882
10	Репкина и др., 2017	болото у оз. Каменное (т. 265)	29.4	–	$\frac{-}{6.4-6.5}$		Сапрпель оторфованный на разнородном (от грубого до мелкого) глинистом песке	ГИН-15204 GIN-15204	8540 ± 50	9496–9542	64.87882, 36.58114
11	Репкина и др., 2017	болото на морской террасе (т. 760)	8.0	–	$\frac{-}{1.9-2.0}$		Торф на сортированном среднезернистом песке	ГИН-15205 GIN-15205	2100 ± 40	2036–2122	64.893191, 36.563525

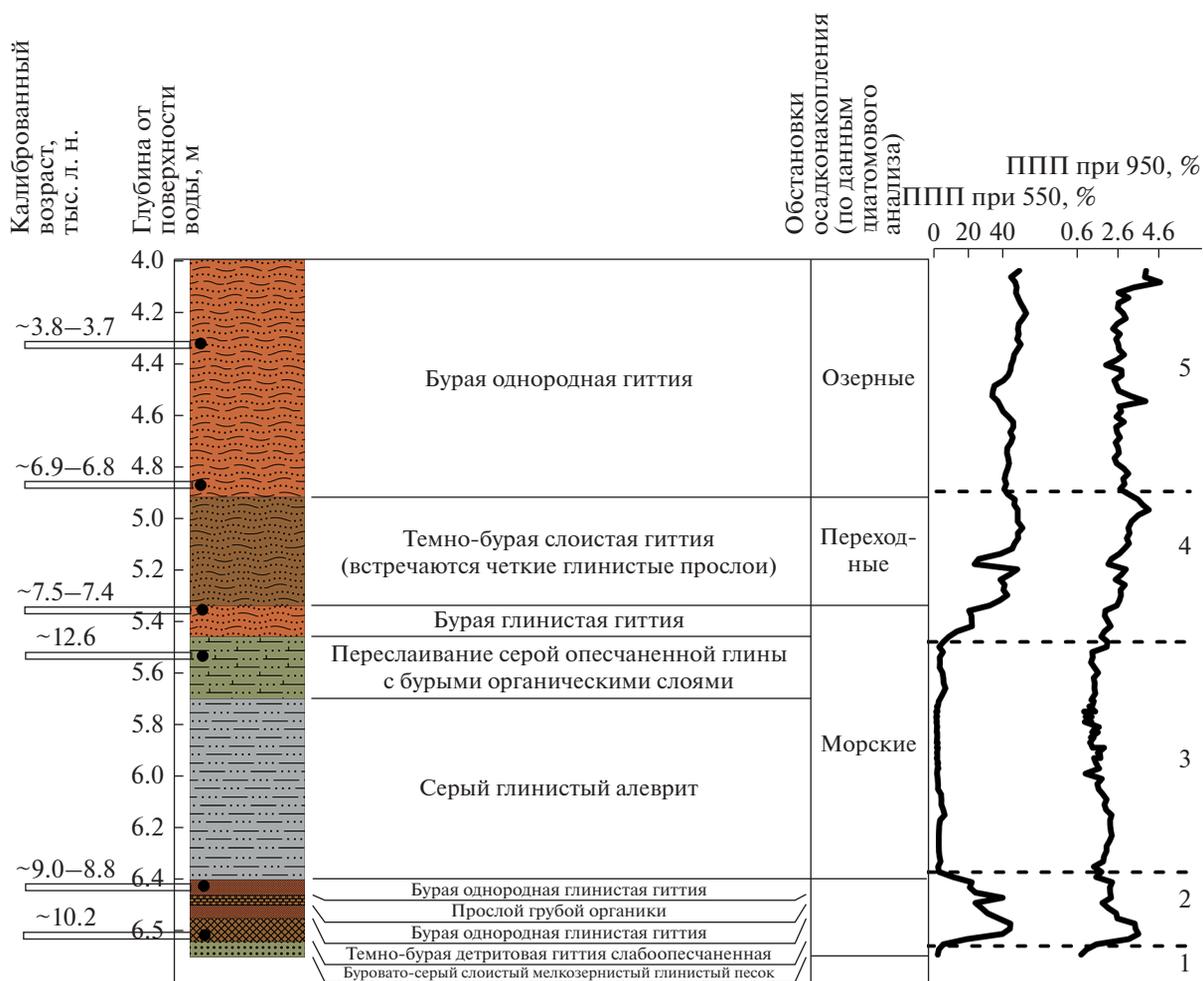
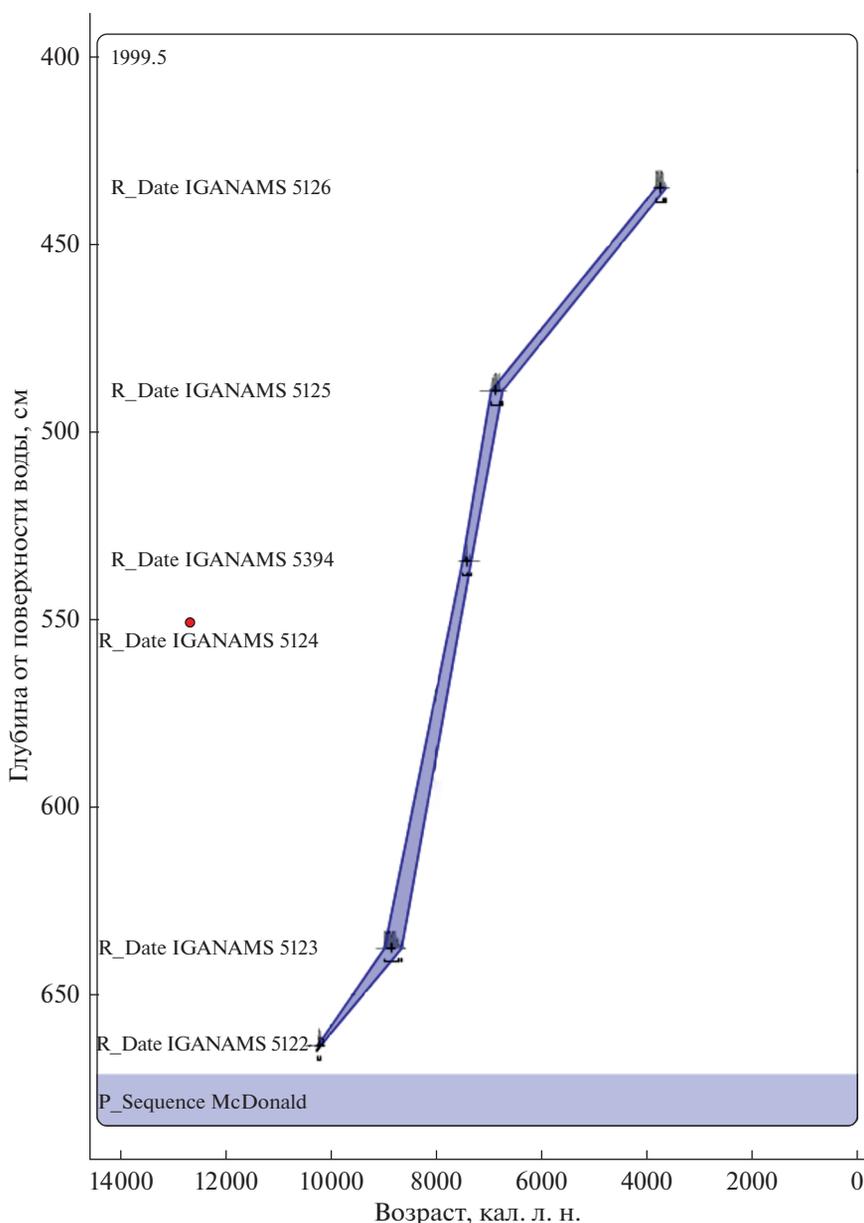


Рис. 2. Литология донных отложений оз. Коноховского. Результаты радиоуглеродного датирования и определения потери массы при прокаливании.

На основании смены литологического состава и изменения содержания органического вещества в донных отложениях выделены пять зон, характеризующих условия осадконакопления (см. рис. 2). В зоне 1, возможно соответствующей условиям приледникового водоема, отмечается минимальное содержание органики (~2–3% ППП при 550°C), а также карбонатного углерода (~1% ППП при 950°C). В зоне 2 оба показателя резко возрастают и достигают значений 44 и ~3% соответственно. Зона 3 — минимальные показатели с небольшими колебаниями (ППП при 550°C от 2 до 6%), что предположительно соответствует характеру осадконакопления в морских условиях. В зоне 4 в целом наблюдается увеличение обоих показателей (ППП при 550°C достигают 50%, ППП при 950°C ~4%), и в 5-ой зоне они относительно стабилизируются на этом уровне. Также в зоне 5 отмечаются разнонаправленные колебания значений ППП при 550°C и 950°C, в то время как в зонах 1–4 увеличения и уменьшения обоих

показателей почти совпадают. В целом изменения значений потерь массы при прокаливании соответствуют смене литологического состава донных отложений.

Предварительные результаты диатомового анализа показали, что в верхней части серого алеврита и перекрывающей его опесчаненной глине в составе диатомовых комплексов преобладают морские и солоноватоводно-морские литоральные диатомеи *Paralia sulcata*, *Grammatophora oceanica*, *Achnanthes brevipes*. Отмечены также споры планктонных *Chaetoceros* spp. В отложениях бурой глинистой гиттии также многочисленны *Paralia sulcata* и *Chaetoceros* spp. Отмечается также резкое увеличение содержания мелкоклеточных солоноватоводных и пресноводных представителей семейства *Fragilariaceae*. В слоистой гиттии доминируют диатомеи *Fragilariaceae* spp. В нижней части однородной гиттии численность *Fragilariaceae* spp. сокращается, постепенно возрастает доля



**Рис. 3.** Глубинно-возрастная модель донных отложений оз. Конюховского (OxCal v 4.4.4.). Красной точкой отмечена инверсия дат.

пресноводных диатомей (главным образом, *Aulacoseira* spp.) в составе диатомовых комплексов.

Результаты радиоуглеродного датирования шести образцов донных отложений оз. Конюховского (см. табл. 1, рис. 2) показали диапазон дат от 10206–10234 кал. л. н. в нижней части разреза (темно-бурая слабоопесчаненная детритовая гиттия) до 3701–3825 кал. л. н. в верхней части (бурая однородная гиттия). Для горизонта 5.70–5.46 м, в котором происходит переслаивание серой опесчаненной глины с бурыми органическими прослоями, отмечена инверсия дат (возраст 12565–12636 кал. л. н. в образце с глубины 5.53–5.52 м),

которая не была включена в построенную глубинно-возрастную модель (рис. 3). В реконструкции также использованы ранее опубликованные результаты датирования отложений болот побережья губы Конюхова (Репкина и др., 2017).

Донные отложения оз. Среднее (рис. 4) в нижней части представлены серым глинистым алевритом (глубины 6.0–5.5 м от поверхности озера), более плотным и вязким в основании керна. Выше лежит слой светло-бурой (5.5–5.43 м) и зеленовато-бурой грубодетритовой (5.43–5.35 м) гиттии. Верхняя часть разреза (5.35–4.2 м) сложена

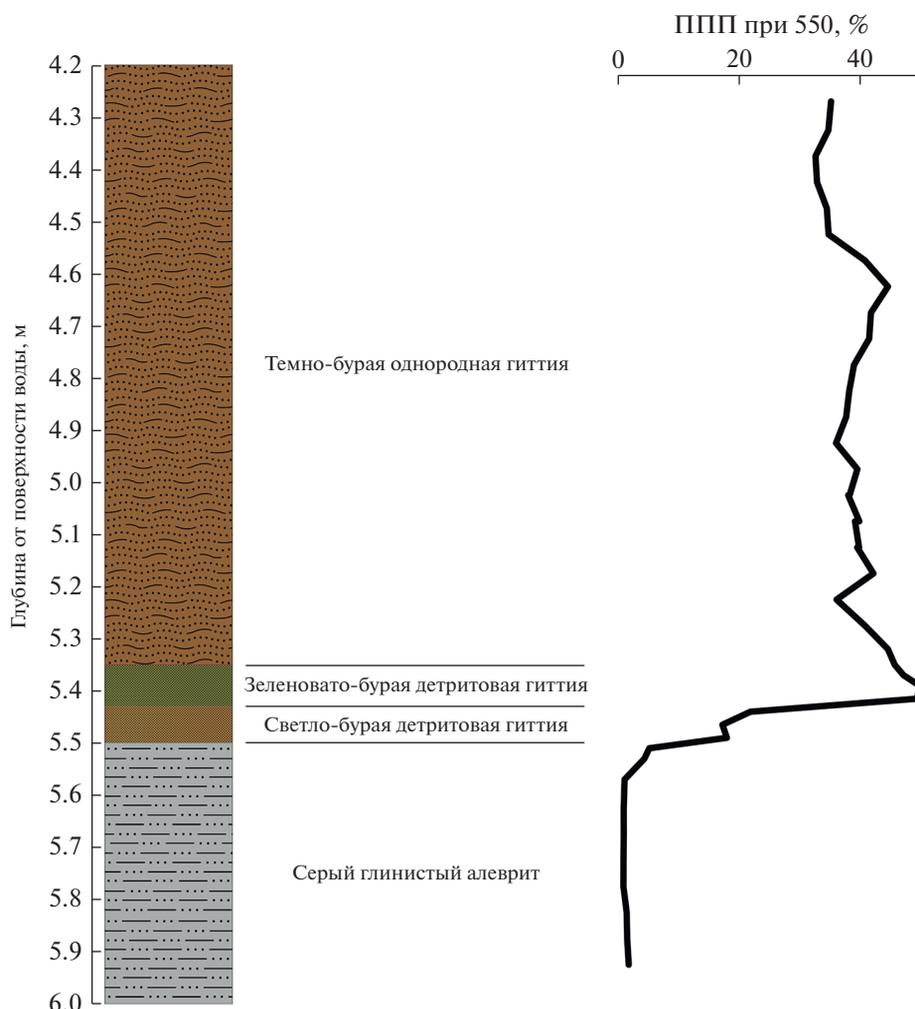


Рис. 4. Литология донных отложений оз. Среднее и результаты определения потери массы при прокаливании.

темно-бурой однородной гиттией. Общая мощность вскрытых отложений 1.8 м.

Содержание органического вещества в алевритовых отложениях находится в диапазоне 0.8–5.1%. Постепенный рост от 1 до 5% отмечен в верхних 10 см осадка. В горизонте светло-бурой гиттии происходит значительное увеличение содержания органического вещества (17–22%). В горизонте грубодетритовой гиттии содержание органического вещества максимальное для всего разреза (47–50%). В замыкающей разрез гиттии содержание органического вещества составило 33–43%.

Вскрытая осадочная последовательность донных отложений оз. Каменное (рис. 5) представлена серым глинистым песком в нижней части разреза (вскрыто 6.89–6.87 м от поверхности озера), темно-бурой торфянистой гиттией (6.87–5.71 м), включающей горизонт темно-бурой детритовой

гиттии (6.42–5.96 м), и бурой однородной гиттией в верхней части (5.71–3.10 м).

В осадках озера без названия вскрыты зеленовато-серая гиттиевая опесчаненная глина (6.5–6.36 м), слоистая глинистая гиттия (6.36–5.89 м) с фрагментами древесины (6.23–6.25 м), темно-бурая однородная гиттия (5.89–5.5 м), торфянистая гиттия (5.5–5.35 м), серая глинистая гиттия (5.35–4.47 м) с серыми алевритовыми прослоями (5.05–5.24 м), бурая слоистая гиттия (4.47–4.37 м), темно-бурая однородная гиттия (4.37–3.8 м).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, полученные в этом исследовании, позволяют реконструировать изменения относительного уровня Белого моря в северо-западной части Онежского полуострова в районе губы Коныхова (см. рис. 5, 6).

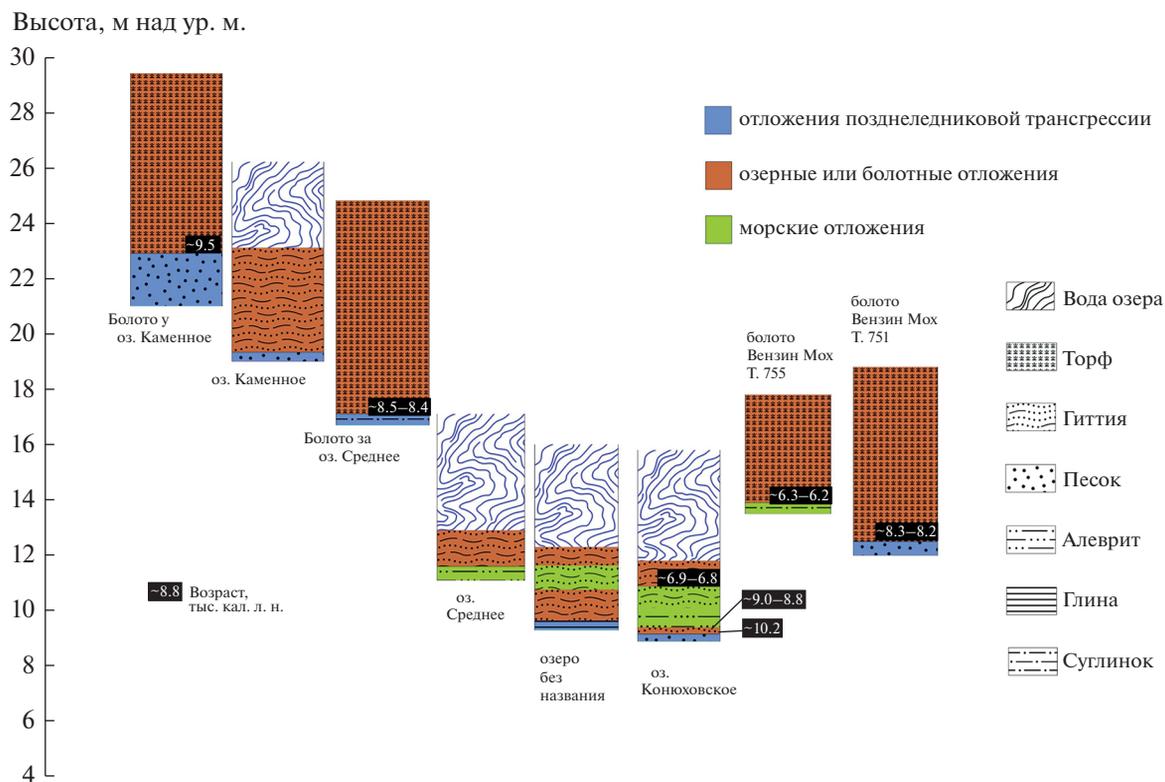


Рис. 5. Строение разрезов донных отложений озер (данная работа) и болот (по (Репкина и др., 2017)) побережья губы Конюхова с литологической интерпретацией их генезиса.

Литологическая последовательность донных отложений оз. Конюховского в целом может рассматриваться как аналог последовательности фаций донных отложений, выделенных на южном побережье Кольского полуострова (Колька и др., 2013): отложения приледникового озера – мелкозернистый глинистый песок (фация I), отложения переходной зоны от приледникового озера к морским – детритовая и глинистая гиттия (фация II), морские осадки – алевроит и глинистая гиттия (фация III), переходные от морских к современным озерным – слоистая гиттия (фация IV) и современные озерные – гиттия (фация V). Донные отложения оз. Среднего, находящегося на сходных высотных отметках, по литологическому составу и содержанию органического вещества могут быть сопоставлены с отложениями оз. Конюховского: алевроит (фация III), детритовая глинистая гиттия (возможно, фация IV) и однородная гиттия (фация V). Осадки озера без названия по литологическому составу также в целом соответствуют рассматриваемой последовательности фаций: глина (фация I), однородная и торфянистая гиттия (фация II), глинистая гиттия с алевроитовыми прослоями (фация

III), слоистая гиттия (фация IV), однородная гиттия (фация V).

На заключительной стадии деградации Фенноскандинавского ледникового щита произошло событие, получившее название позднеледниковой трансгрессии. В Кандалакшском заливе Белого моря оно датируется 13.5–11.5 кал. л. н. (Колька и др., 2013; Колька, Корсакова, 2017). В то время бассейн Белого моря представлял собой обширный пресноводный водоем (Колька, Корсакова, 2017; Невеский и др., 1977; Zaretskaya et al., 2021). Донные отложения, формировавшиеся в этот период, представлены на северном побережье Кандалакшского залива преимущественно неслоистыми или ленточными глинами, слоистыми разнозернистыми песками (Колька и др., 2013), на юго-восточном побережье Белого моря – алевроитами и песками (Кошечкин, 1979; Репкина и др., 2017; Шилова и др., 2019; Zaretskaya et al., 2021), а на Соловецких островах – опесчаненными глинами и разнозернистыми песками (Субетто и др., 2012). Слоистые мелкозернистые глинистые пески в подошве колонки из оз. Конюховского (см. рис. 2) вероятно также накопились во время позднеледниковой трансгрессии.

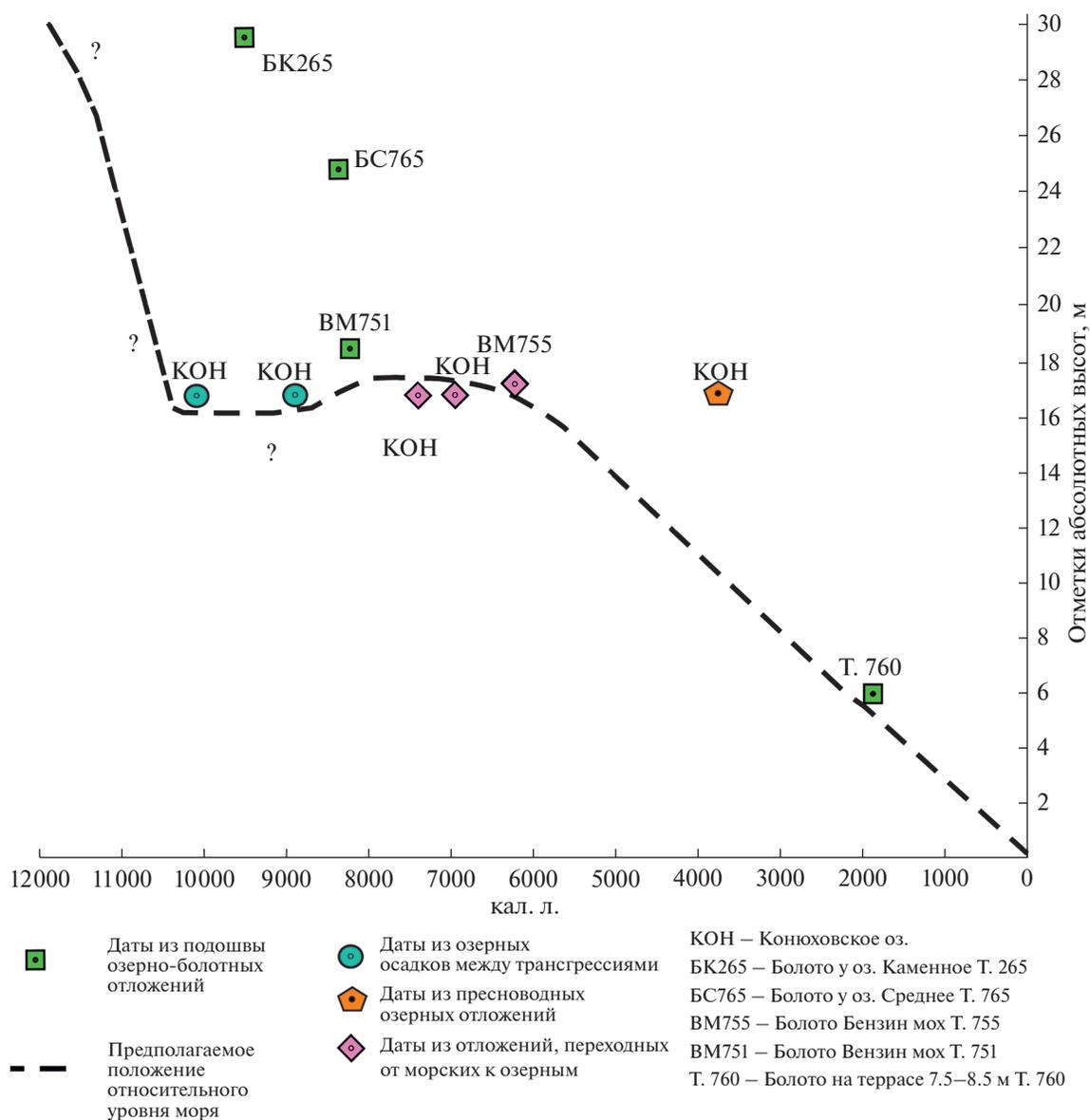


Рис. 6. Перемещение относительного уровня моря в губе Конохова.

К осадкам позднеледниковой трансгрессии можно отнести также суглинистые пески и опесчаненные суглинки, залегающие в болотах около оз. Каменное (29.4 м над ур. м.) и Среднее (24.8 м над ур. м.) под торфом с возрастом подошвы ~9.5 и 8.5–8.4 тыс. кал. л. н. соответственно (см. табл. 1, рис. 5, 6).

Детритовая гиттия (~10.2 тыс. кал. л. н.), перекрывающая пески в подошве колонки из оз. Коноховского (см. рис. 2), маркирует переход от относительно глубоководных условий к обстановкам изолированного или более мелководного бассейна. Аналогичные осадки, залегающие выше раннеголоценовых минерогенных отложений, представлены в регионе довольно широко (Коль-

ка и др., 2013; Субетто и др., 2012). Можно предположить, что относительный уровень моря был близок к порогу стока оз. Коноховского (17.0 м). Фаза изолированного озера/мелководного бассейна продолжалась около 2000 лет (см. рис. 2, 5).

Следующие значимые изменения в литологии донных отложений оз. Коноховского произошли позже — ~9.0–8.8 тыс. кал. л. н., когда детритовая гиттия замещается глинистой гиттией, а затем глинистым алевритом (см. табл. 1, рис. 2). Подобные изменения в литологии, фиксирующие замещение органогенных отложений (гиттии, торфа) на минерогенные (алевроиты, глинистые алевриты, глинистые гиттии) часто встречаются в регионе и указывают на начало трансгрессии Тапес. Об

установлении морских условий свидетельствуют также результаты диатомового анализа (см. рис. 2). Относительный уровень моря в это время был выше порога стока оз. Конюховского. Максимальный уровень трансгрессии, вероятно, не был выше 18.5 м над ур. м., поскольку в южной котловине палеозалива Вензин Мох с порогом стока ~18.5 м над ур. м., осушенной не позднее ~8.3–8.2 тыс. кал. л. н. (скважина 751 в табл. 1, на рис. 5, 6) морские трансгрессивные отложения не зафиксированы (Репкина и др., 2020).

На изучаемом участке трансгрессия Тапес проходила в интервале времени от ~9.0–8.8 до ~6.2 тыс. кал. л. н. В разрезе донных отложений оз. Конюховского глинистый алеврит, начиная с глубины 5.7 м от поверхности озера, перекрывается опесчаненной глиной с бурыми органическими прослоями и бурой глинистой гиттией. Соответственно наблюдается увеличение потерь массы при прокаливании для образцов из этих горизонтов. Вероятно, это свидетельствует об уменьшении глубин и более активном поступлении органического материала с водосбора, предшествовавших началу изоляции водоема. На наш взгляд, последнее может объяснять инверсию полученной для этого горизонта радиоуглеродной даты ~12.6 тыс. кал. л. н. (см. табл. 1, рис. 2).

После ~7.5–7.4 тыс. кал. л. н. (см. табл. 1, рис. 2) происходит смена типа донных отложений в оз. Конюховском: поверх глинистой гиттии начинает формироваться слоистая гиттия, что указывает на постепенную изоляцию озера от моря. Образование слоистых отложений в целом характерно для этапа изоляции от морского бассейна (Колька, Корсакова 2017; Corner and Naugane, 1993; Kjempeud, 1986). Об установлении переходных, нестабильных обстановок свидетельствует доминирование в составе диатомовых комплексов мелкоячеичных диатомей семейства *Fragilariaceae*, обладающих широкой экологической валентностью и способностью быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды (Lie et al., 1983; Stabell, 1985). ППП (550°C) в слоистой гиттии достигают 50%, тогда как в глинистом алеврите составили всего 2–6%, что указывает на повышение роли автохтонного органического вещества в осадконакоплении.

Начало формирования типичных озерных отложений — гиттии (~6.9–6.8 тыс. кал. л. н.) — маркирует завершение изоляции оз. Конюховского. В это время уровень моря опустился ниже порога стока (около 17.0 м над ур. м.), о чем свидетельствует увеличение доли пресноводных диатомей в составе диатомовых комплексов. Ранее установлено (Репкина и др., 2020), что северная котловина палеозалива Вензин Мох с порогом стока около 17.5 м над ур. м. (скважина 755 в табл. 1, на

рис. 5, 6) ~6.3–6.2 тыс. кал. л. н. находилась на стадии отчленения от моря. Диатомовые комплексы из осадков, подстилающих датированный горизонт, характерны для обмелевшего морского залива с соленостью, пониженной вследствие приближающейся изоляции. Различия в оценке возраста изоляции водоемов могут быть связаны с возможной погрешностью в определении высоты порога стока болота.

Дальнейшее понижение относительного уровня моря было более плавным: в период с ~6.3–6.2 (скважина 755 в табл. 1 и на рис. 6) до ~2.1 тыс. кал. л. н. (скважина 760 в табл. 1 и на рис. 6) он понизился с ~17.5 до ~6 м над ур. м., что позволяет оценить скорость регрессии в 0.28 см/год. Понижение до современного уровня произошло с близкой скоростью (Репкина и др., 2017).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На побережье губы Конюхова выделено три геоморфологических уровня: моренная равнина, испытавшая влияние позднеледниковой трансгрессии (24–30 м над ур. м.), преимущественно абразионная морская терраса, образовавшаяся в период трансгрессии среднего голоцена (14–17.5 м над ур. м.), абразионно-аккумулятивная морская терраса, сформировавшаяся во время регрессии позднего голоцена (7–10 м над ур. м.).

Озеро Конюховское первый раз отделилось от моря (приледникового бассейна) ~10.2 тыс. кал. л. н. и, вероятно, представляло собой водоем лагунного типа. Во время трансгрессии Тапес, позже ~9.0–8.8 тыс. кал. л. н., уровень моря поднимался на 2–3 м, и морские условия в котловине озера восстановились. Окончательно озеро отделилось от моря ~6.9–6.8 тыс. кал. л. н.

Позднеледниковая трансгрессия достигала, вероятно, ~30 м над ур. м. Во время регрессии раннего голоцена относительный уровень моря стал ниже порога стока оз. Конюховского (17.0 м над ур. м.) не позднее ~10.2 тыс. кал. л. н. Трансгрессия Тапес с подъемом уровня не ниже 17.0, но не выше 18.5 м над ур. м., проходила в интервале времени от ~9.0–8.8 до ~6.2 тыс. кал. л. н. В ходе последующей регрессии не позже ~2.1 тыс. кал. л. н. относительный уровень моря достиг ~6 м.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено в рамках государственного задания при поддержке Министерства просвещения РФ № FSZN-2020-0016, РФФ № 22-17-00081, государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН

по теме № 0154-2019-0004, государственного задания ИГ РАН по теме № 0148-2019-0005.

### FUNDING

The study was carried out within the framework of the state task with the support of the Ministry of Education of the Russian Federation no. FSZN-2020-0016, RSF no. 22-17-00081 the state task of the Institute of Limnology Russian Academy of Sciences – SPC RAS on the topic no. 0154-2019-0004, the state task of the Institute of Geography RAS on the topic no. № 0148-2019-0005.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер Я.Й., Корнер Г.Д.* Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 73–88.  
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88>
- Колька В.В., Корсакова О.П.* Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 222–249.
- Кошечкин Б.И.* Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 158 с.
- Леонтьев П.А., Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А.* Реконструкция быстрых трансформаций природно-климатических обстановок в позднем плейстоцене и голоцене на основе палеолимнологических исследований озер Онежского полуострова Белого моря // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы IX Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода (Иркутск, 15–20 сентября 2015 г.). Иркутск, 2015. С. 271.
- Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В.* Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
- Пармузин Ю.П.* Генетическая классификация озерных котловин // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск: Наука, 1975. С. 406–414.
- Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Субетто Д.А., Потанин М.С., Кунгаа М.Ч., Новикова А.В., Леонтьев П.А.* Морфодинамика берегов северо-запада Онежского полуострова Белого моря в голоцене. Губа Конюхова // Тр. КарНЦ РАН. 2017. № 8. С. 3–22.  
<https://doi.org/10.17076/bg717>
- Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Лудикова А.В., Зарецкая Н.Е.* Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 6. С. 888–904.  
<https://doi.org/10.31857/S2587556620060096>
- Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., Беек П. ван, Суо М., Субетто Г.Д.* Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190.  
<https://doi.org/10.1134/S1028334X12090140>
- Шилова О.С., Зарецкая Н.Е., Репкина Т.Ю.* Голоценовые отложения Юго-Восточного побережья Горла Белого моря: новые данные диатомового и радиоуглеродного анализов // ДАН. 2019. Т. 488. № 6. С. 661–666.  
<https://doi.org/10.31857/S0869-56524886661-666>
- Corner G.D., Haugane E.* Marine-lacustrine stratigraphy of raised coastal basins and postglacial sea-level change at Lyngen and Vanna, Troms, northern Norway Norsk Geologisk Tidsskrift. 1993. Vol. 73. P. 175–197.
- Kjemperud A.* Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the Trondheimsfjord area, central Norway // Boreas. 1986. Vol. 15. P. 61–82.  
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1986.tb00744.x>
- Lie S.E., Stabell B., Mangerud J.* Diatom stratigraphy related to Late Weichselian sea-level changes in Sunnmøre, Western Norway // Norges Geol. Unders. 1983. Vol. 380. P. 203–219.
- Lunkka J.-P., Putkinen N., Miettinen A.* Shoreline displacement in the Belomorsk area, NW Russia during the younger Dryas stadial // Quat. Sci. Rev. 2012. Vol. 37. P. 26–37.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.023>
- Ramsey C., Lee S.* Recent and planned developments of the program OxCal // Radiocarbon. 2013. Vol. 55. P. 720–730.  
<https://doi.org/10.1017/S0033822200057878>
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al.* The Intcal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62 (4). P. 725–757.  
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Stabell B.* The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea // Boreas. 1985. Vol. 14. P. 273–286.  
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1985.tb00916.x>
- Zaretskaya N.E., Rybalko A.E., Repkina T.Yu., Shilova O.S., Krylov A.V.* Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments // Quat. Int. 2021. Vol. 605–606. P. 126–141.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>

## Holocene Relative Sea-Level Changes Reconstruction in the North–West of Onega Peninsula (Konyukhov Bay, White Sea) Based on Paleolimnological Studies

P. A. Leontev<sup>1, \*</sup>, D. A. Subetto<sup>1, 2</sup>, T. Y. Repkina<sup>1, 3</sup>, A. V. Ludikova<sup>4</sup>, D. D. Kuznetsov<sup>4</sup>, Yu. A. Kublitsky<sup>1</sup>, T. V. Sapelko<sup>4</sup>, N. E. Zaretskaya<sup>3, 5</sup>, V. M. Firsenkova<sup>1</sup>, M. S. Potakhin<sup>2, 6</sup>, L. S. Syrykh<sup>1</sup>, and D. S. Tolstobrov<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>3</sup>Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Institute of Limnology – SPC RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>5</sup>Geological Institute of RAS, Moscow, Russia

<sup>6</sup>Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

<sup>7</sup>Geological Institute Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia

\*e-mail: barograph@yandex.ru

The reconstruction of relative sea level changes based on the method of isolated basins and geomorphological studies. Three geomorphological levels are distinguished: moraine plain influenced by Late Glacial transgression (24–30 m a.s.l.), predominantly abrasive marine terrace formed during the Middle Holocene transgression (14–17.5 m a.s.l.), abrasive-accumulative marine terrace formed during the regression of the Late Holocene (7–10 m a.s.l.). Bottom sediments of lakes and swamps have been studied at different geomorphological levels of the coast of Konyukhov Bay. The results of lithological description, loss of ignition analysis, diatom analysis and radiocarbon dating of samples of bottom sediments of Lake Konyukhovskoye (64.882° N, 36.586° E) with a hypsometric level 15.8 m and a runoff threshold of 17.0 m a.s.l. are presented. The results of the analysis of bottom sediments allowed reconstructing the history of the lake and changes in the level of the White Sea in the Holocene. For the first time, Lake Konyukhovskoye was isolated during the Early Holocene regression earlier than 10.2 thousand cal. years BP. Sea conditions and the connection with the White Sea arise during the Tapes transgression ~9.0–8.8 thousand cal. years BP. The relative sea level during the maximum of the transgression was ~17.5 m a.s.l. The final separation of Lake Konyukhovskoye occurred as a result of a drop in sea level below 17.0 m earlier 6.9–6.8 thousand cal. years BP.

**Keywords:** lake sediments, Holocene, White Sea, Onega Peninsula, sea-level change, transgression

### REFERENCES

- Corner G.D., Haugane E. Marine-lacustrine stratigraphy of raised coastal basins and postglacial sea-level change at Lyngen and Vanna, Troms, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 1993, vol. 73, pp. 175–197.
- Kjemperud A. Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the Trondheimsfjord area, central Norway. *Boreas*, 1986, vol. 15, pp. 61–82. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1986.tb00744.x>
- Kolka V.V., Yevzerov V.Y., Møller J.J., Corner G.D. The Late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of Kola Peninsula. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2013, no. 1, pp. 73–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88>
- Kol'ka V.V., Korsakova O.P. Position of the White Sea Coastline and Neotectonic Movements in the North-East of Fennoscandia in the Late Glacial and Holocene. In *Sistema Belogo morya* [White Sea System]. Vol. 4: *Protsessy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* [Sedimentation Processes, Geology, and History]. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2017, pp. 222–249. (In Russ.).
- Koshechkin B.I. *Golotsenovaya tektonika vostochnoi chasti baltiiskogo shchita* [Holocene Tectonics of the Eastern Part of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka Publ., 1979. 158 p.
- Leont'ev P.A., Kuznetsov D.D., Subetto D.A. Reconstruction of rapid transformations of natural and climatic conditions in the late Pleistocene and Holocene based on paleolimnological studies of the lakes of the Onega Peninsula of the White Sea. In *Fundamental'nye problemy kvartera, itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovaniy: mater. IX Vseross. soveshch. po izuch. chetvertichnogo perioda* [Fundamental Problems of the Quaternary, the Results of the Study and the Main Directions for Further Research: Proc. IX All-Russ. Meeting on the Study of the Quaternary Period]. Irkutsk, 2015, 271 p. (In Russ.).
- Lie S.E., Stabell B., Mangerud J. Diatom stratigraphy related to Late Weichselian sea-level changes in Sunnmøre, Western Norway. *Norges Geol. Unders.*, 1983, vol. 380, pp. 203–219.
- Lunkka J.-P., Putkinen N., Miettinen A. Shoreline displacement in the Belomorsk area, NW Russia during the younger Dryas stadial. *Quat. Sci. Rev.*, 2012, vol. 37, pp. 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.023>
- Neveskii E.N., Medvedev V.S., Kalinenko V.V. *Beloe more. Sedimentogenez i istoriya razvitiya v golotsene* [White Sea. Sedimentogenesis and History of Development in the Holocene]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 236 p.
- Parmuzin Yu.P. Genetic classification of lake basins. In *Krugovorot veshchestva i energii v ozernykh vodoemakh*

- [Circulation of Matter and Energy in Lake Reservoirs]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1975, pp. 406–414. (In Russ.).
- Ramsey C., Lee S. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, pp. 720–730.  
<https://doi.org/10.1017/S0033822200057878>
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kB). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, pp. 725–757.  
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Subetto D.A. et al. Morphodynamics of the shores of the Northwestern Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene. Guba Konyukhov. *Tr. KarNTs RAN*, 2017, no. 8, pp. 1–19. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17076/bg717>
- Repkina T.Yu., Romanenko F.A., Ludikova A.V., Zaretskaya N.E. The Northwestern shores of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene: development conditions, dynamics, chronology. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 6, pp. 888–904. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.31857/S2587556620060096>
- Shilova O.S., Zaretskaya N.E., Repkina T.Yu. Holocene deposits of the southeastern coast of the White Sea Throat: new data from diatom and radiocarbon analysis. *Dokl. Akad. Nauk*, 2019, vol. 488, no. 6, pp. 661–666. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.31857/S0869-56524886661-666>
- Stabell B. The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. *Boreas*, 1985, vol. 14, pp. 273–286.  
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1985.tb00916.x>
- Subetto D.A., Shevchenko V.P., Ludikova A.V. et al. Chronology of isolation of the Solovetskii archipelago lakes and current rates of lake sedimentation. *Dokl. Earth Sci.*, 2012, vol. 446, pp. 1042–1048.  
<https://doi.org/10.1134/S1028334X12090140>
- Zaretskaya N.E., Rybalko A.E., Repkina T.Yu., Shilova O.S., Krylov A.V. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments. *Quat. Int.*, 2021, vols. 605–606, pp. 126–141.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>