

Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера

Уровень Ладожского озера после освобождения его котловины от последнего оледенения и на протяжении всего голоценового периода менялся неоднократно. Последний трансгрессивный этап в истории озера, называемый Ладожской трансгрессией, закончился около 3 тыс. лет назад. Существуют разные точки зрения на то, какое время могло занять падение уровня Ладоги до современных отметок: приводятся как скоротечные сценарии «катастрофического» спуска, так и оценки в первые сотни лет. В статье собраны аргументы в пользу длительной в историческом времени регрессии. На основе палеолимнологических данных построены тренды изменения относительного уровня Ладожского озера для нескольких ключевых участков в северной части озера, иллюстрированные сериями палеокарт.

Ключевые слова: *Ладожское озеро, голоцен, палеолимнология, изостазия, трансгрессия, палеогеографические реконструкции.*

T. V. SAPELKO, A. V. TEREKHOV (Institute of Limnology RAS),
A. V. AMANTOV (VSEGEI)

Ladoga transgression: reconstruction of the final stage and consequent decline in the northern part of the lake

Level of Lake Ladoga has changed for several times after its basin got free from glacier and during the Holocene. The last transgressive stage which is called Ladoga transgression ended around 3 thousand years BP. Different points of view, concerning the duration of lake level drop, exist. These estimates include either “catastrophic” scenarios or several centuries duration. In this article, evidences for longstanding level fall are shown. Based on paleolimnologic data, several lake level trends for key areas were calculated and illustrated by series of paleomaps.

Keywords: *Lake Ladoga, Holocene, paleolimnology, isostasy, transgression, paleogeographic reconstructions.*

Введение. Голоценовая история Ладожского озера характеризуется рядом известных различно проявленных трансгрессий и регрессий, но их роль и точные временные рамки оцениваются по-разному. Наиболее молодые значимые колебания уровня озера связаны с так называемой Ладожской трансгрессией, с кульминацией около 3 тыс. лет назад и последующей регрессией, скорость которой менее изучена. Цель работы – частично восполнить этот пробел применительно к северной части озера.

Впервые идея о Ладожской трансгрессии выдвинута в 1893 г. Де Геером, затем обоснована Ю. Айлио [23]. В последующие годы палеогеографические исследования проводили К. К. Марков, О. М. Знаменская, Б. И. Кошечкин, И. М. Экман, Д. Д. Квасов, Д. Б. Малаховский, П. М. Долуханов, Х. А. Арсланов, Н. Н. Давыдова, Д. А. Субетто, М. Саарнисто и др. Палеогеографические и археологические исследования Приладожья показывают, что развитие трансгрессии носило сложный характер. Помимо увеличения приходной части водного баланса, в динамику уровня вносил вклад и гляцио-изостатический компонент: из-за неравных скоростей поднятия берегов трансгрессия в северной и южной частях происходила с разной скоростью и амплитудой [2, 4, 11].

Несмотря на существование гипотез о возникновении р. Нева еще до окончания Ладожской трансгрессии, завершение которой не связано с этим событием [5, 6], наиболее общепринятой является теория о том, что сток из Ладоги в Балтику, осуществлявшийся в северной части Карельского перешейка, прекратился вследствие изостатического поднятия порога стока (располагавшегося в районе пос. Вещево), после чего около 3100 кал. лет назад (кал. л. н.) возникла р. Нева, и сток тем самым стал происходить южнее [1, 8, 10, 14, 20]. Причём приводятся аргументы в пользу того, что «прорыв» Невы и последующая регрессия Ладожского озера носили катастрофический и скоротечный характер [13]. В качестве аналогов подобных событий, но несколько меньшего масштаба, произошедших в историческое время, в литературных источниках приводятся спуск оз. Суходольского в начале XIX в. [9], а также опыт по естественному размыву канала, прорезающего рыхлые горные породы, во время строительства ГЭС в Карелии [12]. Эти примеры подтверждают возможность быстрого размыва русла с последующим «катастрофическим» спуском крупного водного объекта. Известны методики расчета водной эрозии [15]. Однако необходимо учитывать размеры и водный баланс Ладожского озера.

Тем не менее имеющиеся в наличии палеолимнологические данные, касающиеся последовательного обособления от Ладоги малых озёр, расположенных на разных абсолютных высотах в период, соответствующий этой регрессии около 3 тыс. лет назад, позволяют реконструировать её ход во времени и оценить, насколько скоротечным или длительным мог быть спад уровня Ладожского озера, а также проиллюстрировать его серией среднemasштабных карт изменений береговой линии. Задача осложняется тем фактом, что исследованные в палеогеографическом отношении районы Приладожья на протяжении своей истории испытывали неравное изостатическое поднятие, следовательно современные высоты, к которым относятся палеогеографические данные, требуют некоторой коррективки или приведения к общему базису.

Таким образом, цель нашего исследования — изучение скорости и характера спада уровня Ладоги в северной её части после максимума Ладожской трансгрессии.

Материалы и методы. В исследовании использованы опубликованные палеолимнологические данные с радиоуглеродными датировками моментов изоляции малых озёр от Ладоги в Северном Приладожье и на островах (рис. 1). Наиболее исследованными в отношении Ладожской трансгрессии и последующего спада уровня озера являются район пос. Кузнечное в северо-западной части Приладожья (озёра Суури, Узловое и Витсалампи на схеме), о-ва Валаам и Путсаари. Кроме того, имеются данные с о-ва Риеккалсанари на севере Ладоги и о-ва Мантсинсаари на северо-востоке близ пос. Салми, а также Балтийско-Ладожского водораздела на Карельском перешейке (озёра Макаровское и Ламское по разные стороны водораздела).

Все указанные в источниках радиоуглеродные датировки периодов предполагаемой изоляции озёр (табл. 1) откалиброваны по одной калибровочной кривой IntCal13 с использованием программы OxCal версии 4.3 [24, 29].

В табл. 1 приведены высоты урезов обособившихся от Ладоги озёр и соответствующие датировки, однако простое нанесение этих данных на двумерный график не даст искомого результата по установлению тренда Ладожской регрессии, потому как высоты урезов изменились вследствие изостатического поднятия рассматриваемой территории неравным образом. Неравные величины поднятий могут быть иллюстрированы результатами моделирования (рис. 1) [3, 21]. Видно, что максимальная разница в величине вертикальных перемещений в рассматриваемой северной части Ладоги составляет до четырех метров.

С целью определения медианных значений радиоуглеродных датировок (табл. 1) рассчитаем поправки для современных высот, которые будут отражать суммарное поднятие объекта со времени его обособления. По результатам моделирования, представляющим величину поднятия в метрах с шагом в несколько сотен лет, установлены функциональные зависимости, позволяющие аппроксимировать величину поднятия объекта в любой интересующий момент времени с приемлемой точностью. Можно заметить, что имеющиеся палеолимнологические данные (рис. 1) не распределены по рассматриваемой территории равномерно, а группируются территориально в несколько «кластеров». Внутри каждой такой группы различия в поднятии за рассматриваемый период минимальны, и, стало быть, для расчёта поднятия всех объектов внутри группы можно использовать одну и ту же аппроксимирующую функцию. Так, например,

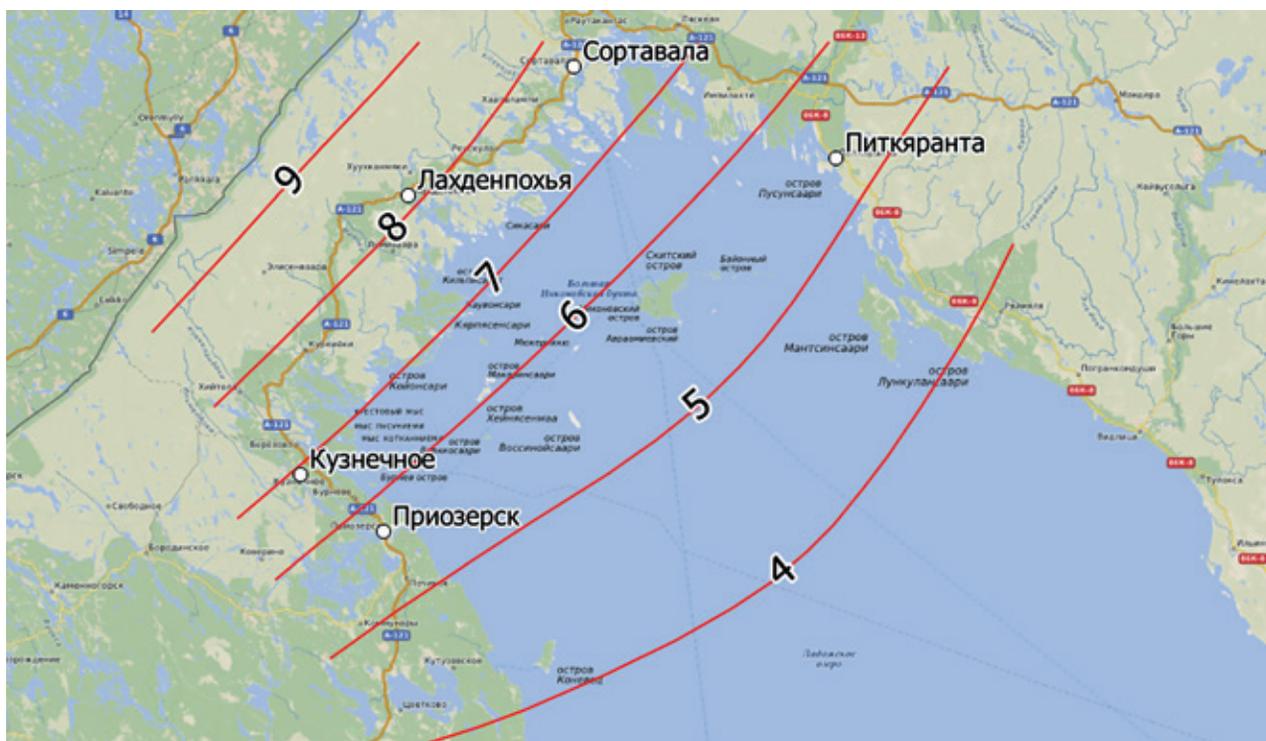


Рис. 1. Карта-схема датированных обособлений озёр, относящихся к периоду после прорыва р. Невы. Цифрами обозначено суммарное поднятие в метрах (по результатам моделирования)

Сводная таблица радиоуглеродных датировок обособления озёр от Ладоги в период после прорыва реки Невы

Объект	Лаб. номер	Датировка ^{14}C , лет н.	Калиброванный возраст, лет н.	Медиана, кал. лет н.	Высота объекта (соврем.)	Источник
Озеро Антониевское	Su-2748	2900 ± 80	3326–3296 (1,6 %) 3253–2845 (93,8 %)	3043	13,0 м	[31]
Озеро Зимняковское	Su-2818	3010 ± 100	3444–3426 (1,0 %) 3408–2925 (94,2 %) 2900–2896 (0,2 %)	3188	12,3 м	[31]
	Su-2819	2680 ± 80	2996–2697 (90,9 %) 2634–2616 (1,0 %) 2591–2536 (2,6 %) 2530–2506 (0,9 %)	2806		
Озеро Витальевское	Su-2816	2740 ± 90	3137–3130 (0,3 %) 3106–3095 (0,4 %) 3078–2723 (94,7 %)	2860	10,8 м	[31]
Озеро Крестовое	Su-2766	2590 ± 100	2871–2360 (95,4 %)	2655	8,3 м	[31]
	Su-2765	2530 ± 90	2769–2357 (95,4 %)	2587		
Озеро Никоновское	Su-2745	2750 ± 80	3061–2746 (95,4 %)	2864	8,1 м	[31]
Озера Вост. и Зап. Игуменские	Su-2761	2210 ± 80	2352–2003 (95,4 %)	2213	7,5 м	[31]
	Su-2762	2480 ± 80	2737–2360 (95,4 %)	2559		
	Su-2763	2570 ± 80	2842–2826 (1,3 %) 2796–2377 (93,9 %) 2369–2365 (0,3 %)	2626		
Озеро Лауринлампи (Св. Сергия)		2740 ± 70	3003–2745 (95,4 %)	2848	15,8 м	[17]
Озеро Витсалампи		2880 ± 50	3159–2875 (95,4 %)	3010	15,0 м	[30]
		3020 ± 55	3366–3060 (95,4 %)	3213		
		3200 ± 80	3610–3227 (95,4 %)	3426		
Озеро Кирьявалампи	Hela-3878	3050 ± 110	3546–3537 (0,3 %) 3481–2943 (94,9 %) 2935–2929 (0,2 %)	3235	17,0 м	[22]
Озеро Макаровское	Le-7312b	2690 ± 160	3206–3200 (0,2 %) 3180–2358 (95,2 %)	2813	11,6 м	[26]
Озеро Узловое	Le-7258b	3850 ± 200	4832–3820 (93,6 %) 3795–3760 (1,0 %) 3753–3725 (0,8 %)	4268	13,0 м	[26]
	Le-7254c	3780 ± 150	4573–3720 (95,4 %)	4168		
	Le-7254b	3740 ± 100	4412–3861 (95,4 %)	4107		
	Le-7255c	3900 ± 600	5912–2929 (95,4 %)	4393		
Остров Мантсинсаари	Hela-3402	2890 ± 80	3319–3310 (0,5 %) 3245–2842 (93,6 %) 2825–2798 (1,4 %)	3030	17,0 м	[25]

разница в поднятии всех исследованных озёр на о-ве Валаам за весь период после прорыва р. Невы не будет превышать одного дециметра (табл. 2), что заведомо меньше предполагаемой точности исследования.

В качестве аппроксимирующей функции воспользуемся полиномиальным трендом третьей степени. Величина достоверности аппроксимации по

пяти точкам («шагам» моделирования) во всех случаях превышает 0,99, что удовлетворяет точности исследования.

При помощи полученных функций скорректируем высоты урезом озёр на моменты их предполагаемого обособления от Ладоги (табл. 3). Из табл. 1 видно, что даже самая «молодая» из датировок периода изоляции оз. Узловое сильно выбивается

Таблица 2

Рассчитанная величина суммарного поднятия за некоторые промежутки времени в прошлом для озёр на о-ве Валаам (по результатам моделирования)

Озеро	Современная высота уреза, м	Величина поднятия (м) за период (кал. л. н.)			
		1000	2000	2750	3400
Витальевское	10,8	2,19	4,41	4,81	5,56
Антониевское	13,0	2,18	4,39	4,76	5,49
Зимняковое	12,3	2,19	4,40	4,76	5,49
Крестовое	8,3	2,16	4,33	4,62	5,29
Никоновское	8,1	2,22	4,46	4,80	5,53
Игуменское	7,5	2,23	4,43	4,84	5,60
Средняя величина поднятия группы озёр, м		2,19	4,40	4,76	5,49
СКО		0,02	0,04	0,07	0,11

Таблица 3

Высоты урезов озёр на момент обособления

Объект	Современная высота уреза, м	Медиана обособления, кал. л. н.	Рассчитанное поднятие после обособления, м	Высота на момент обособления, м
Озеро Антониевское	13,0	3043	5,5	7,5
Озеро Зимняковое (Su-2818)	12,3	3188	5,6	6,7
Озеро Зимняковое (Su-2819)	12,3	2806	5,3	7,0
Озеро Витальевское	10,8	2860	5,3	5,5
Озеро Крестовое (Su-2766)	8,3	2655	5,1	3,2
Озеро Крестовое (Su-2765)	8,3	2587	5,0	3,3
Озеро Никоновское	8,1	2864	5,3	2,8
Озеро Игуменские (Su-2761)	7,5	2213	4,5	3,0
Озеро Игуменские (Su-2762)	7,5	2559	5,0	2,5
Озеро Игуменские (Su-2763)	7,5	2626	5,1	2,4
Озеро Лауринлампи	15,8	2848	6,4	9,4
Озеро Витсалампи (I)	15,0	3010	6,5	8,5
Озеро Витсалампи (II)	15,0	3213	6,7	8,3
Озеро Витсалампи (III)	15,0	3426	7,0	8,0
Озеро Узловое	13,0	4107	7,3	5,7
Озеро Кирьявалампи	17,0	3235	7,9	9,1
Остров Мантсинсаари	17,0	3030	4,1	12,9
Озеро Макаровское	11,5	2813	5,7	5,8

из остального массива данных в сторону «удревнения» практически на тысячу лет. Если убрать эту датировку, отметив рассчитанные точки на графике, мы получим возможный сценарий хода регрессии Ладожского озера после прорыва р. Нева (рис. 2). В данном случае ось высоты показывает абсолютную высоту зеркала Ладожского озера в Балтийской системе высот на определенный момент времени, а потому сам по себе подобный график не имеет практического применения. Тем не менее далее возможно трансформировать его в графики изменения относительного уровня Ладоги для каждого

из участков, где необходимо построить серии карт. С целью осуществления упрощенного пересчета необходимо поочередно сложить функции тренда абсолютного уровня Ладоги с аппроксимирующими функциями изостатического поднятия. Итоговые графики, показывающие возможный ход относительного уровня Ладожского озера после прорыва Невы, показаны на рис. 3.

По графику абсолютного уровня выбраны три временных среза, для которых составлена серия карт последовательного изменения береговой линии Ладоги: 2400 ± 200 , 2800 ± 200 и 3100 ± 200 кал. л. н.

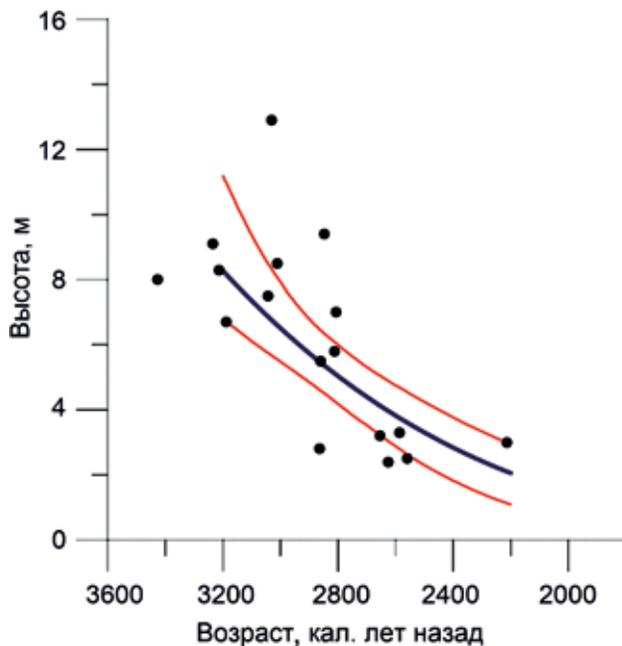


Рис. 2. Тренд регрессии Ладожского озера, полученный по палеолимнологическим данным (синяя линия), и его доверительный интервал (95 %, красные линии)

Величины погрешности для дат получают из 95 % доверительного интервала полученного тренда регрессии. Дополнительно на картах покажем максимальный уровень, достигнутый Ладожской трансгрессией, предположительно, перед прорывом р. Нева и подтвержденный геоморфологическими данными [16, 18, 19].

Результаты и обсуждение. С использованием графиков изменения относительного уровня Ладоги получены серии палеогеографических карт. Как было отмечено, к трём временным срезам, выбранным по построенному тренду хода абсолютной высоты зеркала Ладоги, добавлен также четвертый момент времени без датировки, иллюстрирующий береговую линию на момент предполагаемого по геоморфологическим данным максимума Ладожской трансгрессии, предшествовавшего прорыву р. Нева и спаду уровня озера.

Несмотря на то, что по построенному на основе палеолимнологических данных тренду спада уровня Ладоги регрессия до нынешних отметок могла растянуться более чем на пятьсот лет, опровергнув тем самым теорию о «катастрофическом» спуске озера после прорыва Невы, доверительные интервалы приведенных радиоуглеродных датировок допускают и иные, более скоротечные сценарии.

Основное противоречие в опубликованных ранее данных связано с оз. Узловое. Все имеющиеся датировки обособления озера из переходного горизонта донных отложений не укладываются в общий тренд регрессии, и даже самая «молодая» из датировок предшествует предполагаемому моменту переноса Ладожского стока в русло Невы примерно на тысячу лет. Однако данная реконструкция предполагает, что озеро потеряло связь с Ладогой уже около 3100 кал. л. н. (рис. 4, а).

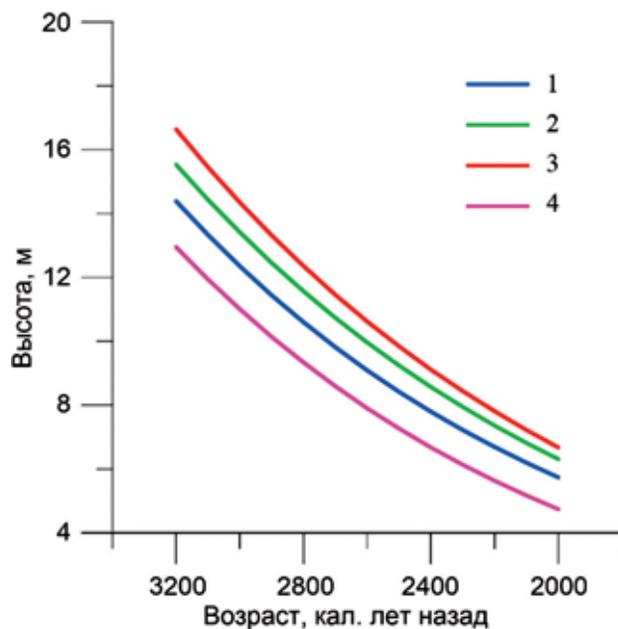


Рис. 3. Графики изменения относительного уровня Ладоги для рассматриваемых районов

Относительный уровень Ладоги: 1 – о-в Валаам, 2 – пос. Кузнечное и о-в Путсаари, 3 – о-в Риеккалансари, 4 – о-в Мантсинсаари

Район посёлка Кузнечное. К моменту 3100 ± 200 кал. л. н. обособляются от Ладоги озёра Узловое (высота уреза 13,0 м) и Витсалампи (15,0 м) (рис. 4, а). К 2800 ± 200 кал. л. н. обособляются Суури, Узкое и Мянтюлампи (рис. 4, б). Из результатов реконструкции видно, что изоляция озёр Узловое и Витсалампи должна была произойти примерно в одно время, тем самым все полученные датировки обособления для оз. Узловое [26] представляются сильно «удревленными».

Остров Валаам. К моменту 3100 ± 200 кал. л. н. обособляется от Ладоги оз. Антониевское (высота уреза 13 м), расположенное выше остальных озёр о-ва Валаам (рис. 5, а). К 2800 ± 200 кал. л. н. изолируются также озёра Зимнякое (12,3 м) и Витальевское (10,8 м). К моменту 2400 ± 200 кал. л. н. по результатам реконструкции все внутренние озёра о-ва Валаам оказываются обособлены (рис. 5, б). Противоречий с датировками, приведенными в работе М. Саарнисто [31], нет.

Остров Путсаари. К моменту 3100 ± 200 кал. л. н. озёра Лауринлампи (высота уреза 15,8 м) и Тервалампи (21,3 м) по результатам моделирования перестают быть частями глубоко вдающихся внутрь о-ва Путсаари узких заливов и становятся самостоятельными водными телами (рис. 6, а). Остальные озёра острова находятся на довольно высоких абсолютных отметках и потому не были затронуты Ладожской трансгрессией. В последующие годы береговая линия Ладожского озера изменяется на о-ве Путсаари не сильно (рис. 6, б).

Острова Лункулансаари и Мантсинсаари. Наименее исследованными в палеолимнологическом отношении из упомянутых выше территорий являются о-ва Лункулансаари и Мантсинсаари, а также современный берег Ладоги напротив них. На островах на абсолютных высотах от 9 до 19 м,

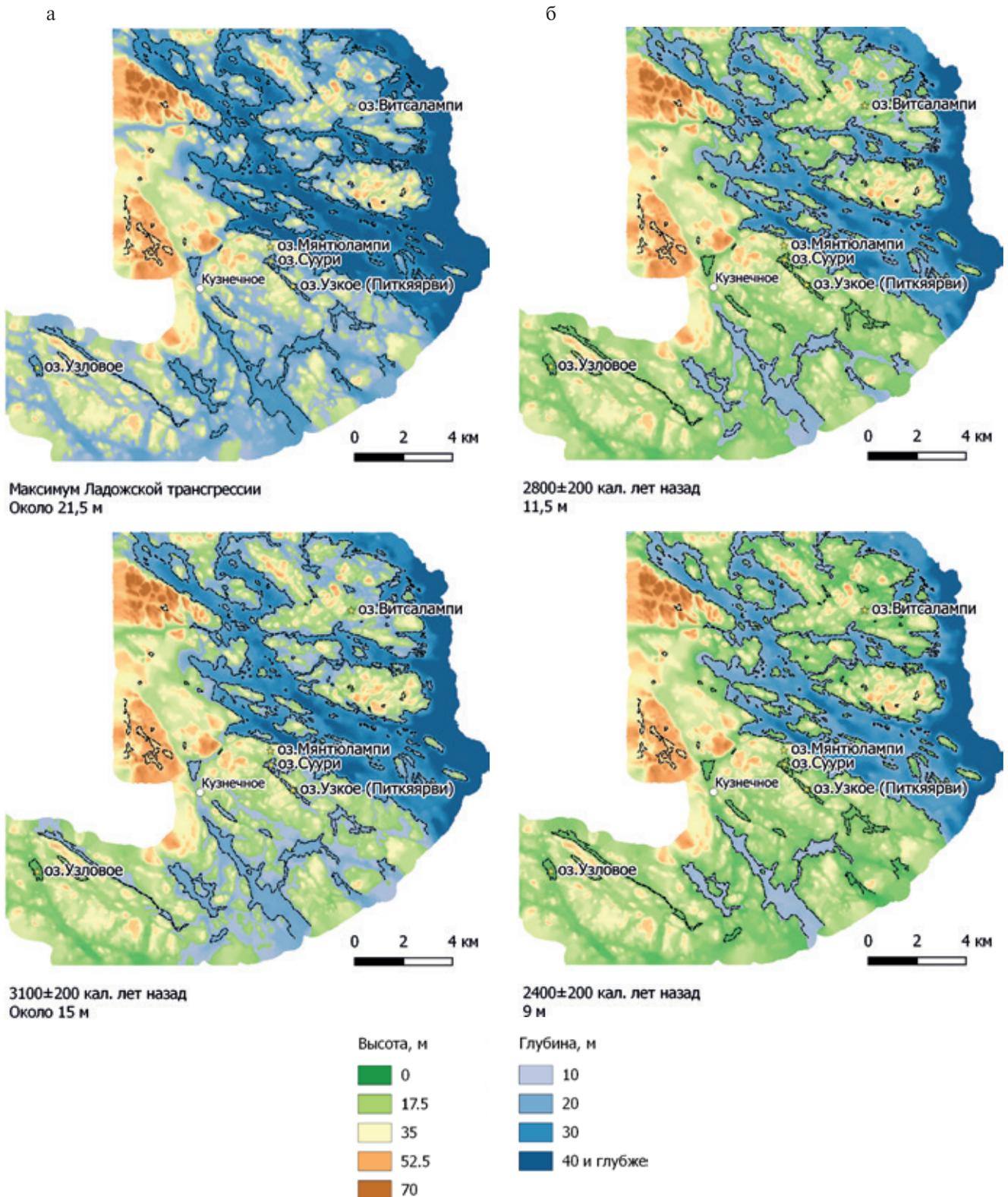


Рис. 4. Изменение береговой линии Ладожского озера в окрестностях пос. Кузнечное
Пунктиром показана современная береговая линия

что охватывает всю предполагаемую амплитуду Ладожской трансгрессии, расположены несколько малых озёр.

Момент максимума трансгрессии для территории островов оставлен неопределённым (рис. 7), так как его величина дискуссионна. Так, Айлио в 1915 г. [23] предположил по высоте гребня берегового вала

на Мантсинсаари высоту трансгрессии равную 21,2–21,4 м. В 1943 г. Хюппя [27] скорректировал оценку Айлио по береговым уступам, понизив её до 17,5–18 м. В работе [25] приводится трансект погребенного под отложениями Ладожской трансгрессии торфяника, кровля которого достигает около 18,5 м, в то время как перекрывающие его

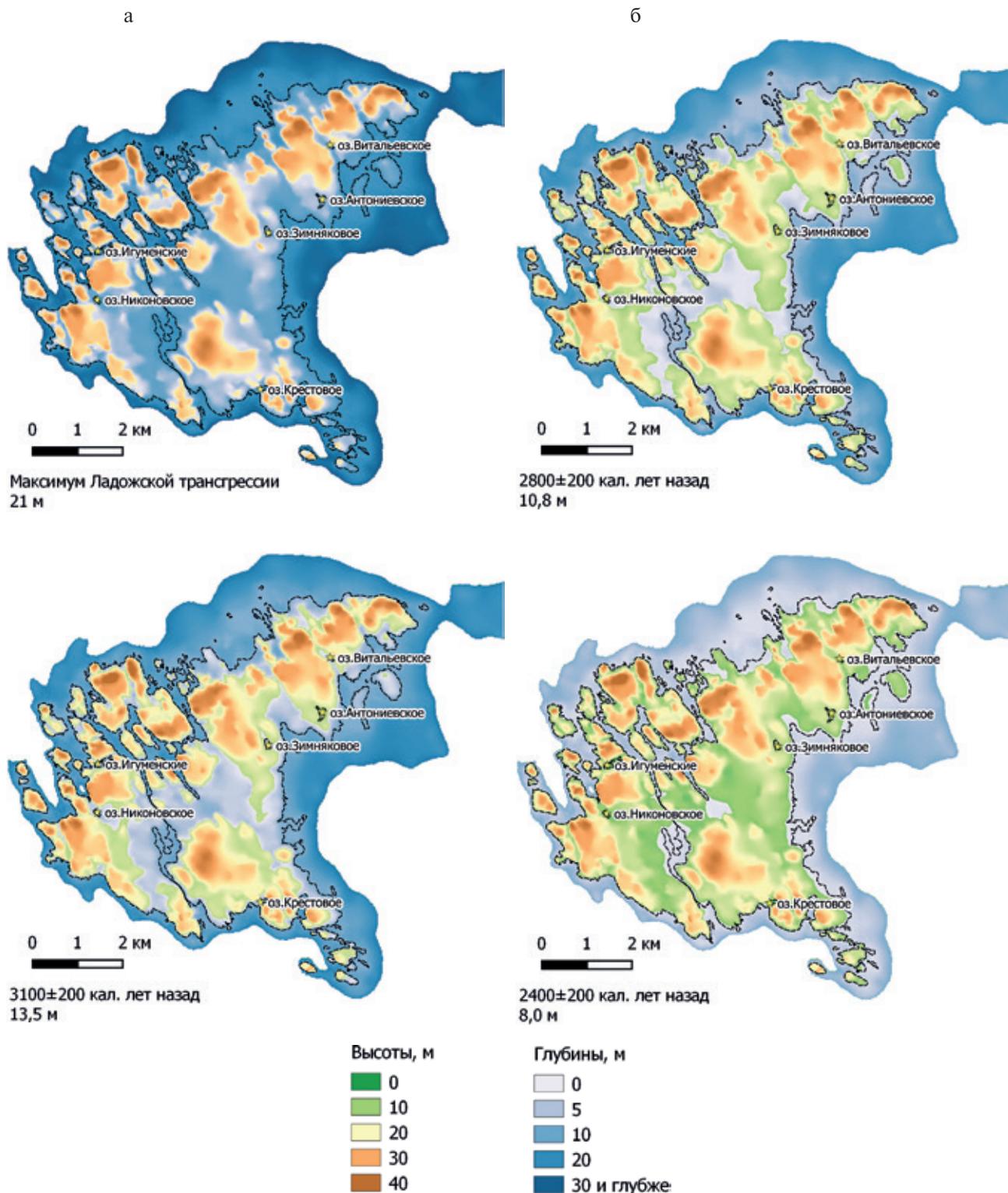


Рис. 5. Изменение береговой линии Ладожского озера на о-ве Валаам

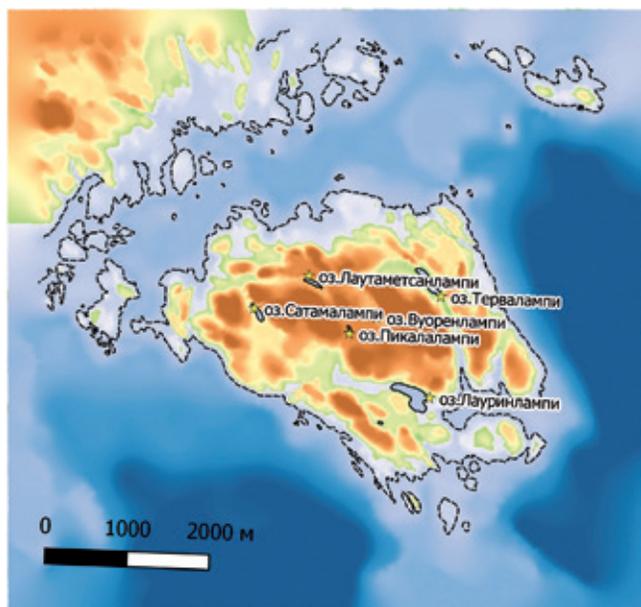
Пунктиром показана современная береговая линия

пески — высот около 20,5 м. По результатам моделирования высота трансгрессии района островов составляла не менее 18,5–19 м. Таким образом, все внутренние озёра островов должны были затопляться водами Ладожской трансгрессии.

По результатам реконструкции, полученной в ходе нашего исследования, на момент 3100 ± 200 кал л. н. первыми от Ладоги обособляются

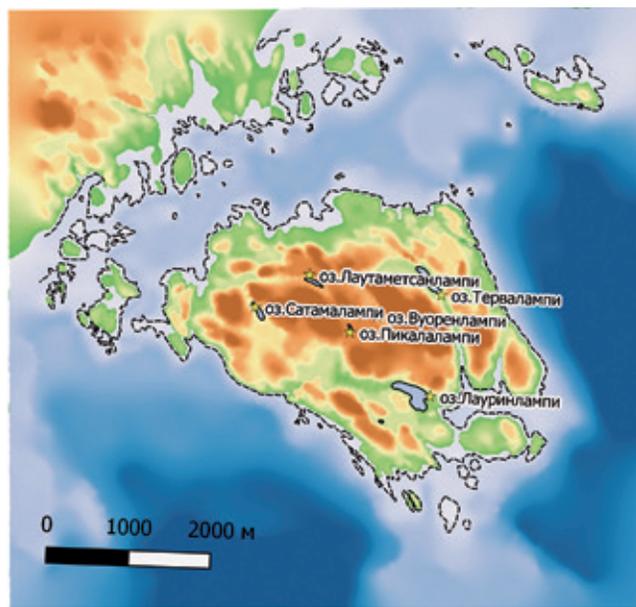
озёра Куиккалампи (высота уреза 17 м), Ликолмпи (11,3 м) и Соккасенлампи (14 м) на о-ве Лункулансаари, а также небольшое оз. Киркколампи (19 м) на севере крупного болотного массива в центральной части о-ва Мантсинсаари. К моменту 2800 ± 200 кал л. н. изолируются также оз. Пейппосенлампи (высота уреза 9 м) на о-ве Мантсинсаари, Кареслампи и Ховатанлампи (около 10 м)

а

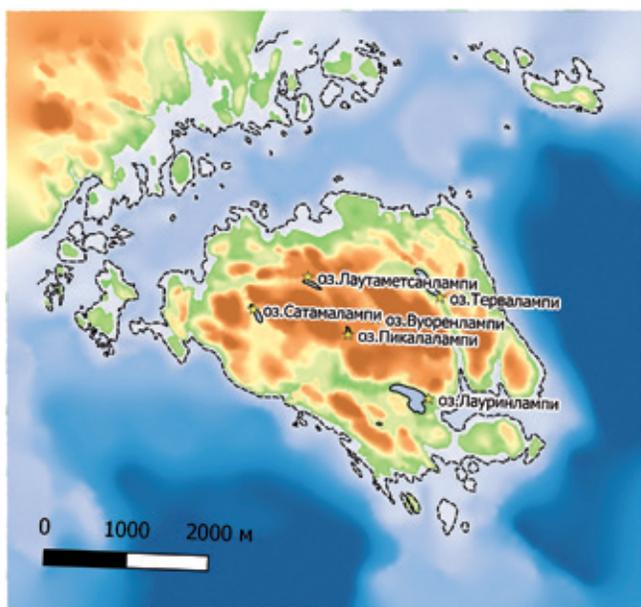


Максимум Ладожской трансгрессии
Около 21,5 м

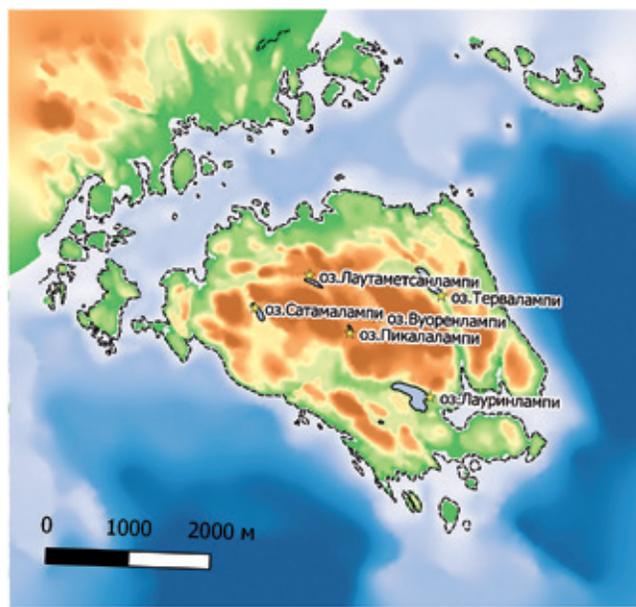
б



2800±200 кал. лет назад
11,5 м

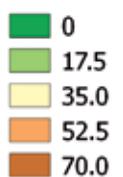


3100±200 кал. лет назад
15,5 м



2400±200 кал. лет назад
9 м

Высота, м



Глубина, м

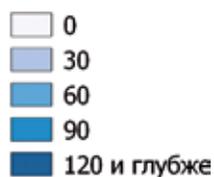


Рис. 6. Изменение береговой линии Ладожского озера на о-ве Путсаари

Пунктиром показана современная береговая линия

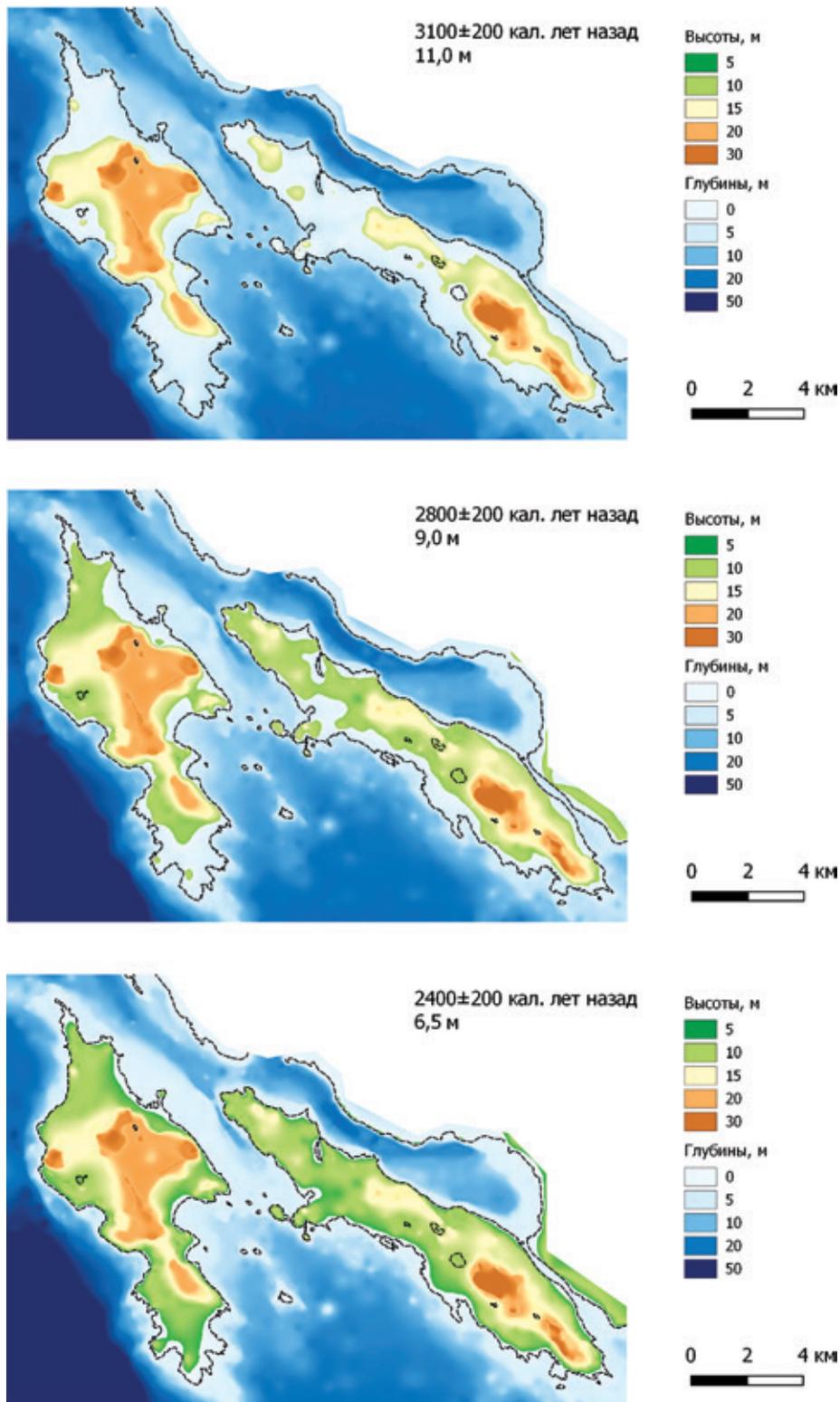


Рис. 7. Изменение береговой линии Ладожского озера на о-вах Мантсинсаари и Лункулансаари

Пунктиром показана современная береговая линия

на Лункулансаари. В следующие годы происходит освобождение из-под воды обширных низменных частей двух островов (рис. 7). Новые полевые работы, проведённые в 2017 г. и последующий анализ палеолимнологических данных с этих островов способны подтвердить или опровергнуть результаты данного исследования.

Заключение. В статье предпринята попытка реконструировать по опубликованным геоморфологическим, палеолимнологическим данным и по результатам моделирования максимум Ладожской трансгрессии и ход последующего спада уровня озера. Из полученных на основе палеолимнологических данных и результатов моделирования трендов

установлено, что спад уровня мог растянуться на первые сотни лет, а не был «катастрофическим». Однако рамки погрешностей имеющихся датировок могут допускать и иные, более скоротечные (в историческом времени) сценарии, которые тем не менее не подразумевают «мгновенный» спуск Ладоги. Полученные в результате реконструкции среднемасштабные карты могут использоваться для нужд археологии [7], либо в целях выявления потенциально наиболее «информативных» малых озёр или болот для их палеоэкологического изучения [28] в связи с историей Ладожского озера.

Работа выполнена в рамках госзадания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2018-0003 «Разработка и совершенствование научных, технических, методических и правовых основ с целью сохранения Ладожского озера как геостратегического объекта федерального значения на основе комплексных исследований» (№ гос. регистрации 01201363379).

1. Александровский А.Л. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения Северо-Запада России / А.Л. Александровский, Х.А. Арсланов, Н.Н. Давыдова, П.М. Долуханов, Г.И. Зайцева, А.Н. Кирпичников, Д.Д. Кузнецов, М. Лавенто, А.В. Лудикова, Е.Н. Носов, Л.А. Савельева, Т.В. Сапелко, Д.А. Субетто // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 5. — С. 682–687.

2. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. — С. 22–32.

3. Амантов А.В., Амантова М.Г. Моделирование послеледниковой истории района Ладожского озера и восточной части Финского залива // Регион. геология и металлогения. 2017. № 69. — С. 5–14.

4. Бискэ Г.С., Лак Г.Ц., Лукашов А.Д., Эжман И.М. О природе ладожской трансгрессии // Природа, береговые образования и история развития внутренних водоемов и морей Восточной Прибалтики и Карелии. — Петрозаводск, 1971. — С. 42–52.

5. Верзилин Н.Н., Клейменова Г.И., Севастьянов Д.В. Трансформация гидрографической сети и лимногляциальных комплексов Карельского перешейка в позднепослеледниковые // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2005. Вып. 2. — С. 40–50.

6. Верзилин Н.Н., Клейменова Г.И. К вопросу о проблемах понимания Ладожской трансгрессии и образования реки Нева // Известия Русского географического общества. 2012. Т. 144. Вып. 4. — С. 33–41.

7. Герасимов Д.В. Каменный век Карельского перешейка в материалах МАЭ (Кунсткамеры) РАН // Свод археологических источников Кунсткамеры / под ред. Г.А. Хлопачева. Т. 1. — СПб.: Наука, 2006. — С. 109–188.

8. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / под ред. Д.Д. Квасова, Г.Г. Мартинсона, А.В. Раукаса. — Л.: Наука, 1990. — 280 с.

9. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озёр и внутренних морей Восточной Европы. — Л.: Наука, 1975. — 278 с.

10. Кошечкин Б.И., Эжман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. — СПб.: Изд-во РГО, 1993. — С. 49–60.

11. Лийва А.А., Сарв А.А., Эжман И.М. К истории послеледниковой (голоценовой) истории Ладоги по данным новых исследований в северо-восточном Приладожье // Природа, береговые образования и история развития

внутренних водоемов и морей Восточной Прибалтики и Карелии. — Петрозаводск, 1971. — С. 23–26.

12. Макринова О.В. Естественный размыв отводящего канала // Тр. Гос. гидр. ин-та. Л., 1953. Вып. 40 (94). — С. 29–43.

13. Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н. Новые данные по истории возникновения Невы // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. — СПб., 1993. — С. 4–84.

14. Марков К.К. Послеледниковая история юго-восточного побережья Ладожского озера // Вопросы географии. 1949. № 12. — С. 213–220.

15. Миртихулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. — М.: Колос, 1970. — 240 с.

16. Рябчук Д.В., Григорьев А.Г., Жамойда В.А. Новые данные о формировании реки Нева по результатам седиментологических исследований в восточной части Финского залива // Регион. геология и металлогения. 2015. № 61. — С. 6–20.

17. Сапелко Т.В. Палеолимнология внутренних озер острова Путсаари (Ладожское озеро) / Т.В. Сапелко, Д.Д. Кузнецов, Н.Ю. Корнеевкова, В.П. Денисенков, А.В. Лудикова // Известия РГО. 2014. Т. 146. Вып. 3. — С. 29–40.

18. Севастьянов Д.В., Субетто Д.А., Сикацкая Е.Д., Степочкина О.Е. Особенности эволюции озерно-речной сети в бассейне Ладожского озера в голоцене // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2001. Вып. 1 (№ 7). — С. 122–136.

19. Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д. Палеолимнологические и палеогидрологические реконструкции развития Ладожско-Балтийского водного соединения // Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее: Материалы XXX пленума Геоморфологической комиссии РАН. — СПб., 2008. — С. 332–334.

20. Субетто Д.А. Донные отложения озёр: палеолимнологические реконструкции. — СПб.: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена. 2009. — 344 с.

21. Фьелдскаар В., Амантов А.В. Перекосы послеледниковых береговых линий как свидетельство наличия астеносферы низкой вязкости при слабой изгибной жесткости литосферы // Регион. геология и металлогения. 2017. № 70. — С. 48–59.

22. Alenius T., Grönlund E., Simola H., Saksa A. Land-use history of Riekkalansaari Island in the northern archipelago of Lake Ladoga, Karelian Republic, Russia // Vegetation History and Archaeobotany. 2004. Vol. 13. — P. 23–31.

23. Ailio J. Die geographische Entwicklung des Ladogasees in Postglaziales Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung // Fennia. 1915. Vol. 38. — N 3. — 157 p.

24. Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. Vol. 51(1). — P. 337–360.

25. Delusin I., Donner J. Additional evidence of the Holocene transgression in lake Ladoga on the basis of an investigation of the beach deposits on the island of Mantsinsaari // Bulletin of the Geological Society of Finland. 1995. — P. 39–50.

26. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A. et al. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-Western Russia // Quaternary International. 2009. Vol. 203. — P. 33–51.

27. Huypä E. Beiträge zur Kenntnis der Ladoga und Ancylustransgression // Bulletin de Coommission géologique de Finlande. 1943. Vol. 128. — P. 139–178.

28. Miettinen J., Grönlund E., Simola H., Huttunen P. Palaeolimnology of Lake Pieni-Kuupalanlampi (Kurkijoki, Karelian Republic, Russia): isolation history, lake ecosystem development and long-term agricultural impact // Journal of Paleolimnology. 2002. Vol. 27. — P. 29–44.

29. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP // Radiocarbon. 2013. Vol. 55(4). — P. 1869–1887.

30. Saarnisto Matti, Grönlund Tuulikki. Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari // *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322. Iss. 1–3. – P. 205–215.
31. Saarnisto M. Late Holocene land uplift /neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // *Quaternary International*. 2012. Vol. 260. – P. 143–152.
-
1. Aleksandrovsky A.L., Arslanov Kh.A., Davydova N.N. et al. New data regarding the Lake Ladoga transgression, Neva River formation, and agricultural development in the North-West of Russia. *Doklady RAN*. 2009. Vol. 424. No 5, pp. 682–687. (In Russian).
2. Amantov A.V. Pre-Quaternary geology and tectonics of Lake Ladoga. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2014. No 58, pp. 22–32. (In Russian).
3. Amantov A.V., Amantova M.G. Modeling of postglacial development of Ladoga Lake region and of the Eastern part of the Gulf of Finland. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2017. No 69, pp. 5–14. (In Russian).
4. Biske G.S., Lak G.Ts., Lukashov A.D., Ekman I.M. On the nature of the Ladoga transgression. *Nature, coastal formation, and development history of inland waters and seas in the eastern Baltics and Karelia*. Petrozavodsk. 1971. Pp. 42–52. (In Russian).
5. Verzilin N.N., Kleimenova G.I., Sevastyanov D.V. Transformation of the hydrographic network and limnoglacial complexes on the Karelian Isthmus in late postglacial period. *Vestnik SPbGU*. Ser. 7. 2005. Iss. 2. Pp. 40–50. (In Russian).
6. Verzilin N.N., Kleimenova G.I. Towards the problems of understanding the Ladoga transgression and the Neva River development. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2012. Vol. 144. Iss. 4. Pp. 33–41. (In Russian).
7. Gerasimov D.V. Stone Age in the Karelian Isthmus based on MAE (Kunstkamera) RAS materials. *Code of archaeological sources of Kunstkamera*. St. Petersburg: Nauka. 2006. Vol. 1. Pp. 109–188. (In Russian).
8. Istoriya Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Baykala i Khanki [History of Ladoga, Onega, Peipsi Lakes, Lake Baikal, and Khanka]. Eds. by D.D. Kvasov, G.G. Martinson, A.B. Raukas. Leningrad: Nauka. 1990. 280 p.
9. Kvasov D.D. Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozyor i vnutrennih morej Vostochnoy Evropy [Late Quaternary history of large lakes and inner seas of Eastern Europe]. St. Petersburg: Nauka. 1975. 278 p.
10. Koshechkin B.I., Ekman I.M. Holocene transgressions of Lake Ladoga. *Evolution of natural conditions and the current state of Lake Ladoga geosystem*. St. Petersburg: RGO Press. 1993. Pp. 49–60. (In Russian).
11. Liiva A., Sarv A., Ekman I. Towards the history of postglacial (Holocene) development of Ladoga Lake by the data from new studies in north-western Ladoga region. *Nature, coastal formations and history of inner water bodies and seas of Eastern Baltic States and Karelia*. Petrozavodsk. 1971. Pp. 23–26. (In Russian).
12. Makrinova O.V. Natural wash-away of tail channel. *Trudy gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*. St. Petersburg. 1953. No 40 (94). Pp. 29–43. (In Russian)
13. Malakhovsky D.B., Arslanov Kh.A., Gei N.A., Dzhihoridze R.N. New data on the Neva history. *Evolution of natural conditions and the current state of Lake Ladoga geosystem*. St. Petersburg. 1993. Pp. 74–84. (In Russian).
14. Markov K.K. Postglacial history of the southeastern shore of Lake Ladoga. *Issues of geography*. 1949. No 12, pp. 213–220. (In Russian).
15. Mirskhulava C.E. Inzhenernyye metody rascheta i prognoza vodnoj ehrozii [Engineering methods of calculation and prediction of water erosion]. Moscow. 1970. 240 p.
16. Ryabchuk D.V., Grigoryev A.G., Zhamoyda V.A. et al. New data about the Neva River formation based on sedimentological studies in the eastern Gulf of Finland. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2015. No 61. Pp. 6–20. (In Russian).
17. Sapelko T., Kuznetsov D., Korneenkova N., Denisikov V., Ludikova A. Paleolimnology of inner lakes of Putsaari Island (Lake Ladoga). *Izvestiya RGO*. 2014. Vol. 146. Iss. 3. Pp. 29–40. (In Russian).
18. Sevastyanov D.V., Subetto D.A., Sikatskaya T.D., Stepochkina O.E. Features of lake and river network evolution in the Lake Ladoga basin during the Holocene. *Vestnik SPbGU*. Ser. 7. 2001. Iss. 1 (No 7). Pp. 122–136. (In Russian).
19. Subetto D.A., Sapelko T.V., Kuznetsov D.D. et al. Paleolimnological and paleohydrological reconstructions of the Ladoga-Baltic waterway connection. *National geomorphology: past, present, and future: Proceedings of the XXX plenum of the RAS Geomorphological Commission*. St. Petersburg. 2008. Pp. 332–334. (In Russian).
20. Subetto D. Donnye otlozheniya ozyor: paleolimnologicheskie rekonstrukcii [Lake bottom sediments: paleolimnological reconstructions]. St. Petersburg. 2009. 344 p.
21. Fjeldskaar W., Amantov A. Tilted Norwegian postglacial shorelines require a low viscosity asthenosphere and a weak lithosphere. *Region. geology and metallogeny*. St. Petersburg. Vol. 53. Pp. 90–104. (In Russian).
22. Alenius, T., Grönlund, E., Simola, H., Saksa, A. 2004: Land-use history of Riekkalansaari Island in the northern archipelago of Lake Ladoga, Karelian Republic, Russia. *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 13. 23–31
23. Ailio, J. 1915: Die geographische Entwicklung des Ladogasees in Postglaziales Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung. *Fennia*. Vol. 38. 3. 157.
24. Bronk Ramsey, C. 2009: Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, Vol. 51(1). 337–360.
25. Delusin, I., Donner, J. 1995: Additional evidence of the Holocene transgression in lake Ladoga on the basis of an investigation of the beach deposits on the island of Mantinsaari. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 39–50.
26. Dolukhanov, P.M., Subetto, D.A., Arslanov, Kh.A., Davidova, N.N., Zaitseva, G.I., Djinoridze, E.N., Kuznetsov, D.D., Ludikova, A.V., Sapelko, T.V., Savelieva, L.A. 2009: The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-Western Russia. *Quaternary International*. Vol. 203. 33–51.
27. Hyyppä, E. 1943: Beiträge zur Kenntnis der Ladoga und Ancylustransgression. *Bulletin de Coommission géologique de Finlande* 128. 139–178.
28. Miettinen, J., Grönlund, E., Simola, H., Huttunen, P. 2002: Palaeolimnology of Lake Pieni-Kuupalanlampi (Kurkijoki, Karelian Republic, Russia): isolation history, lake ecosystem development and long-term agricultural impact. *Journal of Paleolimnology*. Vol. 27. 29–44.
29. Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliadason, H., Hajdas, I., Hatt, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., & van der Plicht, J. 2013: IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*. Vol. 55(4). 1869–1887.
30. Saarnisto, Matti, Grönlund, Tuulikki. 1996: Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari. *Hydrobiologia*. Vol. 322. 1–3. 205–215.
31. Saarnisto, M. 2012: Late Holocene land uplift /neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia. *Quaternary International*. Vol. 260. 143–152.

Сапелько Татьяна Валентиновна – канд. географических наук, ст. науч. сотрудник, ИНОЗ РАН¹. <tsapelko@mail.ru>
Терехов Антон Викторович – мл. науч. сотрудник, ИНОЗ РАН¹. <terexterex@gmail.com>
Амантов Алексей Владиславович – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <4448470@mail.wplus.net>

Sapelko Tat'yana Valentinovna – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Institute of Limnology RAS¹. <tsapelko@mail.ru>

Terekhov Anton Viktorovich – Junior Scientist Researcher, Institute of Limnology RAS¹. <tepextepex@gmail.com>

Amantov Aleksey Vladislavovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <4448470@mail.wplus.net>

¹ Институт озероведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН). Ул. Севастьянова, д. 9, Санкт-Петербург, 196105, Россия. Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences (Institute of Limnology RAS). 9 Sevast'yanova, St. Petersburg, 196105, Russia.