

**ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИИ:
ОТ КАЛИНИНГРАДА ДО КАМЧАТКИ**

УДК 551.89:556.55.551.8:574(470.25)

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗОЛЯЦИИ ОЗЕРА ВИТАЛЬЕВСКОГО
(ОСТРОВ ВАЛААМ) И ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ
В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ УРОВНЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА
В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ[#]**

© 2023 г. Т. В. Сапелко^{1,*}, Т. Ю. Газизова¹, А. Д. Моисеенко², А. В. Лудикова¹,
Д. Д. Кузнецов¹, А. Г. Русанов¹

¹Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: tsapelko@mail.ru

Поступила в редакцию 03.04.2023 г.

После доработки 17.07.2023 г.

Принята к публикации 08.09.2023 г.

Пыльца макрофитов в донных отложениях озер является ценным источником информации об изменении уровня озера. Продолжая наши предыдущие исследования по использованию пыльцевого анализа макрофитов в палеолимнологии, с помощью спорово-пыльцевого анализа авторами изучена колонка донных отложений оз. Витальевского на о-ве Валаам (северная часть Ладожского озера). Для подтверждения полученных результатов палинологического анализа дополнительно проведены литологический и диатомовый анализы донных отложений. С помощью геоботанического и палинологического анализов поверхностных проб озерных отложений установлено распространение макрофитов на внутренних островных озерах на современном этапе. Проведенное комплексное исследование позволило установить этапы развития оз. Витальевского в позднем голоцене: (1) этап залива Ладожского озера с небольшим зарастанием водной растительностью; (2) этап изоляции озера от Ладоги, когда макрофиты практически исчезали из водоема, (3) этап самостоятельного развития оз. Витальевского, когда произошло массовое распространение макрофитов, а затем, в результате антропогенного воздействия, их площадь стала сокращаться. Проведенное исследование на о-ве Валаам позволило получить данные по современному распространению макрофитов в островных озерах северной части Ладожского озера, их динамике в позднем голоцене, а также выполнить методическую работу по установлению роли макрофитов в истории как малых островных озер, так и Ладожского озера.

Ключевые слова: Ладожское озеро, островные озера, остров Валаам, поздний голоцен, изоляция, донные отложения, макрофиты, пыльца, диатомовые водоросли, литология, органическое вещество

DOI: 10.31857/S2949178923040126, **EDN:** XWGH CZ

ВВЕДЕНИЕ

Валаам является наиболее исследованным островом Ладожского озера. На острове работают метеостанция, учебная база РГГМУ, где ежегодно проводятся наблюдения за современным состоянием озер (Степанова и др., 2021). Изучение донных отложений озер острова начато в 1996 г. (Saarnisto, Grönlund, 1996; Saarnisto, 2012). Изуча-

лись озера Витальевское, Антониевское, Зимняковское, Крестовое, Никоновское, Восточное и Западное Игуменские (Saarnisto, 2012). Озера, расположенные на разных абсолютных отметках, изучались в связи с реконструкцией изменения уровня Ладожского озера. Были получены радиоуглеродные датировки. По палинологическим данным озерных осадков о-ва Валаам изучалось развитие древнего земледелия на острове (Vuorela et al., 2001). В 2000-х гг. с помощью палинологического и геохимического анализов изучен разрез болота у оз. Лещева (Кочубей и др., 2012), где была реконструирована растительность в суббореальном и субатлантическом периодах и определены металлы и оксиды металлов в донных отложе-

[#] Ссылка для цитирования: Сапелко Т.В., Газизова Т.Ю., Моисеенко А.Д. и др. (2023). Особенности процесса изоляции озера Витальевского (остров Валаам) и динамика растительности в связи с изменением уровня Ладожского озера в позднем голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 4. С. 72–89. <https://doi.org/10.31857/S2949178923040126>; <https://elibrary.ru/XWGH CZ>

ниях. Изучение поверхностных проб донных отложений озер с помощью палинологического (Т.В. Сапелко, неопубликованные данные) и диатомового (Н.Н. Давыдова, неопубликованные данные) анализов впервые на о-ве Валаам проводилось в 2002 г. Новые комплексные палеоолимонологические исследования на о-ве Валаам начались в 2019 г. Необходимость этих работ возникла в связи с получением новых результатов в рамках исследований группы палеоолимонологии ИНОЗ РАН по изучению островных озер северной части Ладожского озера (Sapelko et al., 2020). Ранее изучались озера, расположенные на разных абс. отметках на о-вах Путсаари и Лункулансаари. Проведена реконструкция процессов отделения островных озер от Ладожского озера (Лудикова и др., 2005; Субетто и др., 2005; Сапелко и др., 2014; Сапелко и др., 2018; Газизова, Сапелко, 2020). Выполненные палинологические исследования в рамках этих работ с изучением ботанического анализа торфа (Сапелко и др., 2014; Сапелко, Корнеевская, 2017) показали перспективность изучения пыльцы макрофитов в отделяющихся островных озерах. Так, на примере озер о-ва Лункулансаари (Газизова, Сапелко, 2020) удалось установить связь изменений таксономического состава и обилия макрофитов с трансгрессивно-регрессивными фазами развития Ладожского озера. Новые исследования на подобных озерах о-ва Валаам, процесс изоляции которых проходил в позднем голоцене, позволят продолжить начатые работы.

На о-ве Валаам летом 2019 г. отобраны колонки и поверхностные пробы донных отложений на озерах Антониевское и Витальевское, а летом 2021 г. — на озерах Германовское и Зимняковское. Для установления роли макрофитов в палеоолимонологических реконструкциях летом 2021 г. проводилось описание современного зарастания озер Германовское, Зимняковское, Антониевское и Витальевское. Все озера расположены на о-ве Валаам на различных абсолютных высотных отметках и образовались в позднем голоцене в результате изоляции от Ладожского озера (Saarnisto, 2012; Сапелко и др., 2018). В настоящее время это небольшие мелководные мезотрофные лесные озера.

Целью представленного исследования является реконструкция динамики пыльцы макрофитов в донных отложениях озер в процессе отделения оз. Витальевского от Ладожского озера. Результаты палинологического анализа призваны подтвердить данные диатомового анализа, литологического анализа с определением потерь при прокаливании, а также геоботанический анализ.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Валаамский архипелаг расположен в северной части Ладожского озера. Из более чем 50 островов архипелага самым большим является о-в Валаам (27.8 км²). Рельеф денудационно-тектонический. Озера и заливы приурочены к тектоническим разломам и трещинам. На острове расположено 11 внутренних озер тектонического происхождения, из которых 9 изолированных озер и 2 озера до сих пор связаны с Ладожским озером. Площадь, занятая болотами, невелика и составляет около 1% (Кучко, 1983).

Остров Валаам расположен на границе южной и средней тайги. Почвы маломощны и представлены примитивными почвами, подбурами, буро-земами, подзолистыми, болотно-подзолистыми, дерново-глебовыми, болотными и антропогенными (Морозова, Лазарева, 2002). На острове преобладают среднетаежные леса с участием неморальных элементов — клена остролистного, липы мелколистной, вяза шершавого (Кучко, 1983). Большая часть острова покрыта сосновыми и еловыми лесами. Небольшую часть (около 5%) занимают березовые леса. На небольших участках встречаются осинники, а также посадки интродуцентов — лиственницы, дуба, пихты и др.

Среднегодовая температура воздуха составляет +3.6°C; средняя температура января — -6.5 — -10°C, средняя температура июля — +16—18.5°C; среднегодовое количество осадков колеблется от 600 до 850 мм (Степанова и др., 2021).

Озеро Витальевское расположено в северо-восточной части о-ва Валаам (рис. 1) на высотной отметке 10.8 м над у. м. и является самым маленьким из внутренних озер. Его площадь составляет 0.005 км² с максимальной глубиной 1.9 м (Степанова и др., 2021). Это небольшое заболачивающееся озеро с мощной сплавиной, ширина которой местами составляет более 5 м. Донные осадки представлены гиттиями и песками. Озеро активно зарастает и заболачивается. Из изученных озер острова на момент исследования в 2021 г. самые высокие значения pH — 6.37 определены для оз. Витальевского (табл. 1). При этом данные за 1998—2019 гг. наблюдений (Степанова и др., 2021) показали диапазон значений pH для этого озера 6.2—7.1. Озеро характеризуется повышенной цветностью воды вследствие заболаченности водосбора.

Древесный ярус окружающей озеро территории представлен *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula* spp., *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Juniperus communis*. Под лесным пологом доминируют *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium myrtillus*, сфагновые мхи на влажных и политриховые мхи (в частности, *Polytrichum commune*) на более сухих участках (куртинах). На топких участках сплавины произрастают куртины *Carex rostrata*, *Calla palustris*, *Comarum palus-*

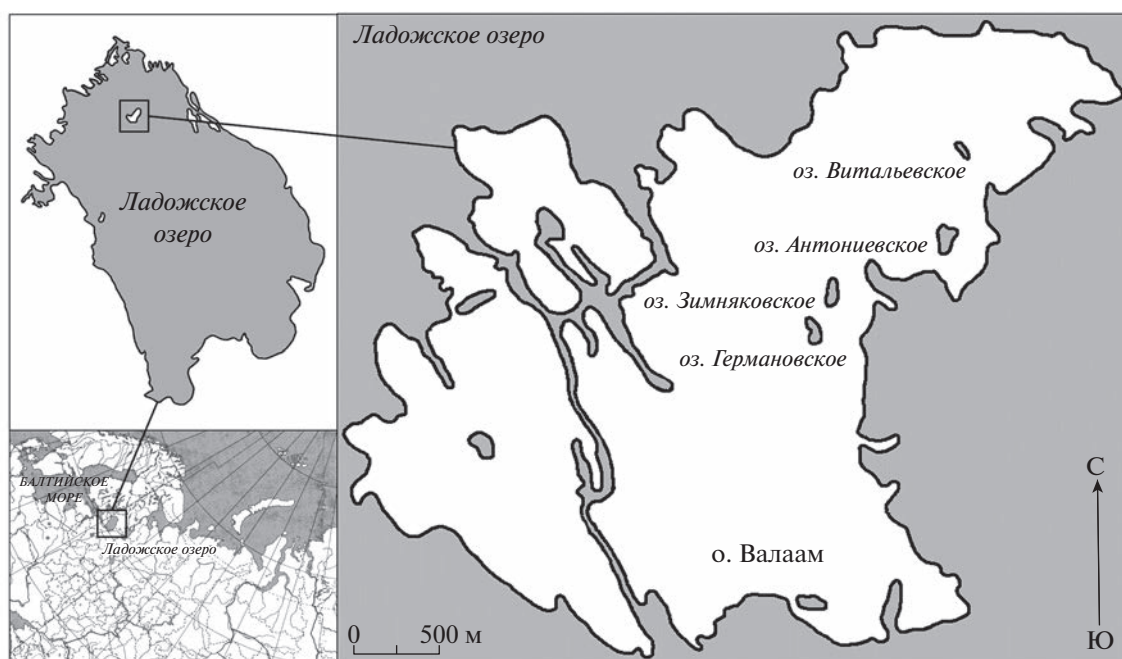


Рис. 1. Карта района исследований.

Fig. 1. Map of the research area.

tre, *Naumburgia thyrsiflora*, *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum vaginatum*, сфагновые мхи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые методы. В рамках полевых работ палеолимнологической экспедиции ИНОЗ РАН на о-ве Валаам в 2019 г. были отобраны поверхностные пробы и колонка донных отложений мощностью 2.3 м. Отбор колонки донных отложений осуществлялся в точке озера с максимальной глубиной 1.9 м ($61^{\circ}23.9568'$ с.ш.; $30^{\circ}59.9946'$ в.д.) в летний период с помощью Русского бура длиной 1 м и диаметром 5 см. В 2021 г. исследования на оз. Витальевском были продолжены. Проведены геоботанические исследования, а также отобраны соцветия макрофитов. Отбирались соцветия прибрежных, болотных и других видов растений. На оз. Витальевском отобраны соцветия *Calla palustris*.

Геоботанический анализ. Видовой состав и структура зарослей макрофитов изучались с лодки общепринятым методом глазомерного картирования (Катанская, 1988). Для оценки степени зарастания озер использовалась классификация В.Г. Папченко (2001).

Литологический анализ и потери при прокаливании. Описание литологических горизонтов проводилось в полевых условиях и корректировалось в лаборатории при разборе кернов. Корреляция кернов проводилась по характерным литологическим границам. Определение потерь при прокаливании (ППП) проводилось по стандартной методике (Heiri et al., 2001) при 550°C в течение 6 ч с последующим взвешиванием.

Палинологический анализ. Образцы для анализа подготавливались по модифицированной в Институте озераведения РАН сепарационной методике В.П. Гричука (Гричук, 1940) с использова-

Таблица 1. Гидрохимия озер о-ва Валаам, лето 2021 г.
Table 1. Hydrochemistry of Valaam Island lakes, summer 2021

Место отбора пробы	Дата	рН	УЭП, мкСм см ⁻¹	IP	TP	NH ₄ ⁺	TN	Цветность, град.
				мг Р л ⁻¹		мг N л ⁻¹		
оз. Германовское	17.06.21	4.83	40	0.013	0.029	0.009	1.24	160
оз. Зимняковское	18.06.21	5.56	33	0.009	0.024	0.030	0.98	113
оз. Антоновское	21.06.21	5.91	35	0.009	0.031	0.012	0.79	81
оз. Витальевское	21.06.21	6.37	56	0.016	0.035	0.023	0.86	88

Таблица 2. Радиоуглеродное датирование оз. Витальевского (Saarnisto, 2012)
Table 2. Radiocarbon data of Lake Vitalievskoye (Saarnisto, 2012)

Лабораторный номер	Глубина, м	Материал датирования	^{14}C , л. н.	Калиброванный возраст, л. н.
Su-2816	2.95–3.00	глинистая гиттия	2740 ± 90	2920–2760
Su-2817A	3.45–3.55	глина	2950 ± 150	3280–2920
Su-2817B	3.45–3.55	глина	3100 ± 110	3420–3150

нием калий-кадмиевой тяжелой жидкости. Определение пылцы и спор проводилось с помощью определителей (Куприянова, Алешина, 1972; 1978) и коллекции ИНОЗ РАН. Также определялись непыльцевые палиноморфы (Van Geel et al., 1989). Для каждого образца было подсчитано не менее 250 зерен древесных пород. Построение спорово-пыльцевой диаграммы осуществлялось с помощью программы Tilia (Grimm, 2004) и Excel. Проценты рассчитывались от общей суммы пылцы древесных, травянистых пород и спор.

Диатомовый анализ. Пробоподготовка для диатомового анализа осуществлялась по стандартной методике (Давыдова, 1985). Видовое определение выполнялось с использованием работ (Krammer, Lange-Bertalot, 1986; 1988; 1991). Идентифицированные виды были сгруппированы по местообитанию, отношению к рН и трофности с использо-

ванием сведений об экологических предпочтениях, приведенных в (Давыдова, 1985; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; van Dam et al, 1994). Кроме того, была выделена группа “ладожских” видов, т.е. видов-обитателей больших озер (Hedenström, Risberg, 1999; Лудикова, 2015). Вычислены концентрации створок диатомей в 1 г сухого осадка (Давыдова, 1985) и индекс флористического разнообразия, ИФР (Bennion, 1995). Диаграммы построены с помощью программы C2 (Juggins, 2007).

Радиоуглеродный анализ. Радиоуглеродный анализ по колонке донных отложений оз. Витальевского был выполнен финскими коллегами ранее и опубликован (Saarnisto, 2012). В связи с тем, что озеро представляет собой небольшой водоем с относительно ровным дном, то по литологическому составу и изменению органического вещества озерных отложений результаты радиоуглеродного датирования (табл. 2) хорошо соотносятся с новыми представленными результатами. Возраст верхней части разреза рассчитан по скорости осадконакопления (Saarnisto, 2012) и подробному датированию этапов земледелия на о-ве Валаам (Vuorela et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Литологический анализ и потери при прокаливании. Общая мощность отобранной колонки донных отложений оз. Витальевского составляет 2.3 м (рис. 2). В нижней части залегают пески, размерность которых уменьшается вверх по разрезу. Пески перекрывает алевритовая гиттия (в нижней части опесчаненная), различных оттенков серого и бурого цвета и с прослоями грубого детрита, мощностью до 0.8 см. Верхняя часть разреза сложена темно-бурой однородной гиттией, переход к которой постепенен.

По динамике содержания органического вещества выделено несколько интервалов: 3.88–4.16 м – отложения со стабильно низким содержанием органического вещества (ППП не превышают 1%), представлены песками; 3.68–3.88 м – отложения с постепенным незначительным повышением вверх по разрезу содержания органического вещества (ППП до 1–2%); 3.00–3.68 м – отложения с постоянным постепенным ростом содержания органического вещества с незначительными

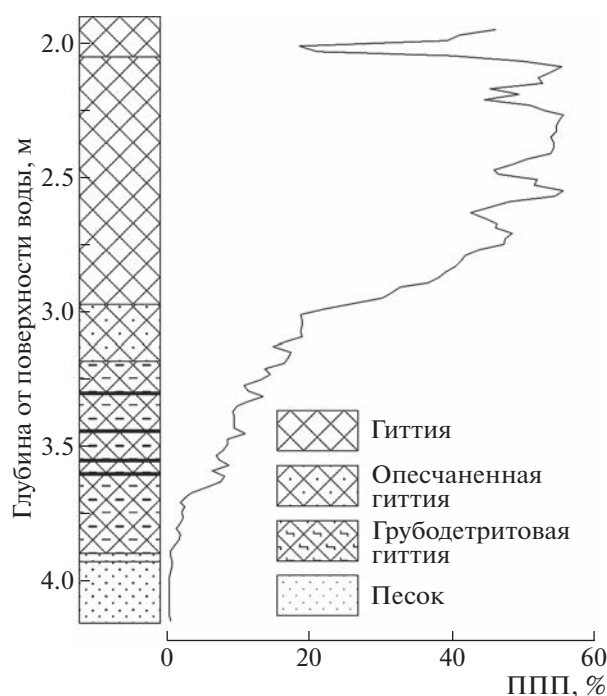


Рис. 2. Литологическая колонка и динамика потерь при прокаливании оз. Витальевского.

Fig. 2. Lithological and loss of ignition dynamics of the Lake Vitalievskoye.

флуктуациями (ППП от 3 до 20%); 2.76–3.00 м — отложения с резким ростом содержания органического вещества (ППП от 22 до 47%); 1.94–2.76 м — отложения с высоким содержанием органического вещества (ППП в диапазоне 39–57%), в котором отмечено несколько интервалов снижения ППП, один из которых, расположенный в приповерхностном горизонте (на глубине 2.1 м), весьма значителен (ППП до 18%).

Геоботанический анализ. Озеро Витальевское относится к слабо заросшим водоемам (9%) (табл. 3). В настоящее время озеро активно зарастает и заболачивается. Юго-западный берег образован сплавиной, поросшей мхом (*Sphagnum* spp.) и влаголюбивым разнотравьем; вдоль берега протянулась узкая полоса зарослей *Carex rostrata*. На северо-восточном берегу доминирует лесная растительность, плавающих вдоль берега водных растений практически нет. Растения уреза воды доминируют в зарастании озера (70% в общей площади зарослей). Куртины *Calla palustris* сосредоточены, в основном, в южной заболоченной оконечности озера; здесь же располагаются свободно плавающие на поверхности воды растения — *Hydrocharis morsus-ranae* и *Lemna minor*. Плавающая и погруженная растительность играют второстепенную роль в зарастании водоема (14 и 16% соответственно). Погруженная растительность представлена мхом *Fontinalis antipyretica*, фрагменты которого встречаются, в основном, вдоль юго-западного берега.

Палинологический анализ. По результатам палинологического анализа поверхностных проб озер была построена спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 3), отражающая характер растительности на изучаемой территории, усредненный за последние несколько лет.

По данным спорово-пыльцевого анализа колонки донных отложений оз. Витальевского построена спорово-пыльцевая диаграмма, на которой выделено пять палинозон (рис. 4). На протяжении всего разреза, за исключением палинозоны 4, в донных отложениях значительно преобладает пыльца древесных растений (>90%), среди которых доминирует пыльца хвойных пород — *Pinus* и *Picea*; существенна роль мелколиственных пород *Betula* и *Alnus glutinosa*.

Палинозона 1 (3.97–3.65 м). Доминирует пыльца *Pinus*, содержание которой в среднем составляет порядка 50%, достигая пика в 60%. Исключением является небольшой период в начале зоны (соответствующий прослою песка), где наблюдаются минимальные значения *Pinus* (32–34%) и, напротив, высокая концентрация пыльцевых зерен *Picea* (пиковое значение 52%). В остальном содержание пыльцы *Picea* существенно ниже — оно колеблется от 20 до 28%, увеличиваясь до 32–35% в конце палинозоны. Концентрация пыльцы

Таблица 3. Видовой состав и вклад отдельных макрофитов в общую площадь покрытия дна оз. Витальевского (+ — вид отмечен единично)

Table 3. Species composition and contribution of individual macrophytes to the total area of the Lake Vitalievskoye bottom coverage (+ — the view is marked singly)

Вид	Площадь	
	га	%
Погруженные гидрофиты		
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	0.006	16
Плавающие гидрофиты:		
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	0.003	9
<i>Lemna minor</i> L.	0.002	5
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	+	
Гигрогелофиты		
<i>Calla palustris</i> L.	0.008	22
<i>Carex rostrata</i> Stokes	0.018	48
<i>Comarum palustre</i> L.	+	
<i>Naumburgia thyrsoiflora</i> (L.) Reichenb.	+	
Общая площадь	0.037	100

Betula составляет в среднем 6–8%, отдельные значения достигают 11–12%; доля пыльцы *Alnus glutinosa* составляет 4–6%. Роль пыльцы *Alnus incana* и *Betula nana* невелика (пики до 2 и 3% соответственно). Пыльца *Abies*, *Corylus* и *Salix* встречается в небольших количествах постоянно. Среди широколиственных пород постоянно присутствует пыльца *Carpinus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* (>1%). Таксономическое разнообразие и обилие пыльцы других групп растений невелики. В травяно-кустарничковом ярусе присутствует пыльца разнотравья. Преобладает пыльца представителей семейств *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*, *Chenopodiaceae* и родов *Artemisia*, *Ranunculus*. Среди пыльцы макрофитов отмечены *Potamogeton*, единично *Sparganium*. Среди споровых растений преимущественно встречаются споры *Bryales*, *Polypodiaceae*, родов *Polypodium*, *Sphagnum* и *Lycopodium*. Присутствуют зеленые водоросли *Botryococcus* и *Pediastrum*.

Палинозона 2 (3.65–3.07 м). Роль пыльцы заметно *Picea* возрастает, в равной степени доминируют хвойные породы — их концентрации колеблются в пределах 28–56% у *Pinus* и 32–56% у *Picea*. Доля пыльцы мелколиственных пород *Betula* и *Alnus glutinosa* снижается и составляет в среднем 3–4 и 2–3% соответственно, однако в конце зоны их концентрация повышается до 8 и 6% соответственно. Обилие пыльцы *Betula nana* по-прежнему невелико, однако к концу зоны также увеличивается (до 5%). Роль и таксономический состав

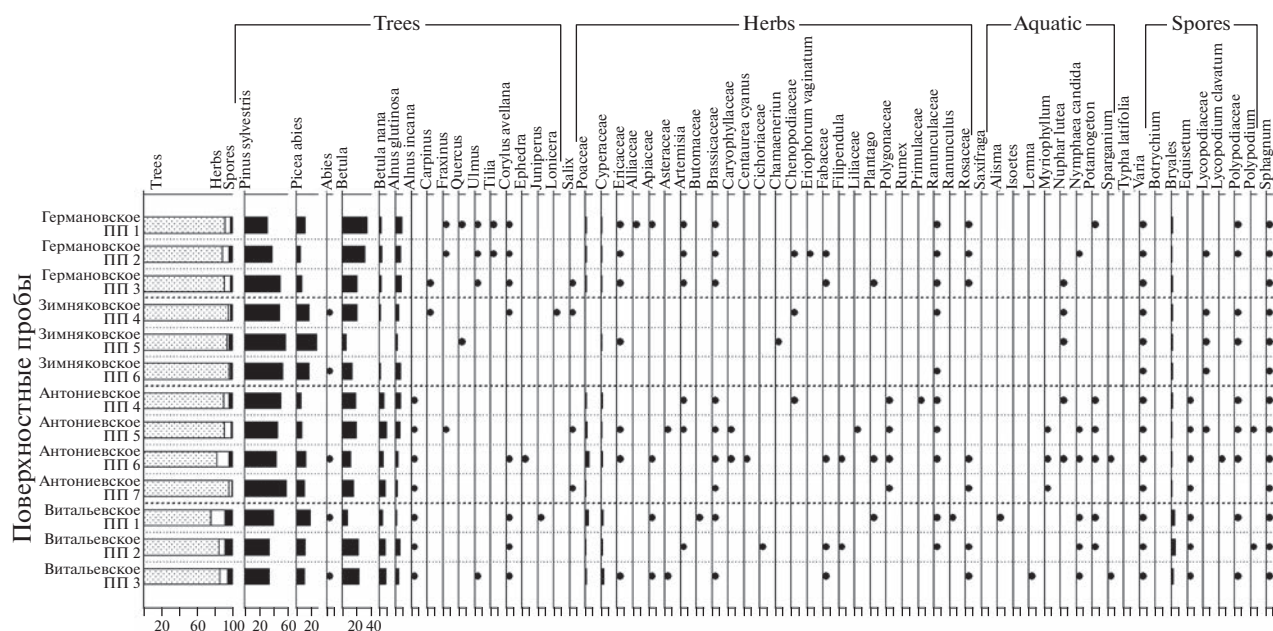


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма поверхностных проб изучаемых озер о-ва Валаам.

Fig. 3. Pollen diagram of the surface samples of Valaam Island lakes.

широколиственных пород сохраняется, среди них преобладает *Ulmus* (отдельные пики $>1\%$). Разнообразие и обилие пыльцы в травяном ярусе возрастают, увеличивается доля представителей семейств *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Ranunculaceae*, родов *Artemisia*, *Ranunculus*. Встречается пыльца *Caryophyllaceae*, *Cichoriaceae*, болотных кустарничков *Ericaceae*. Процент водных растений невелик, однако появляется стабильная кривая пыльцы *Myriophyllum*, единично встречается пыльца *Potamogeton*. Возрастает содержание и разнообразие споровых растений, преобладают споры *Bryales*, *Polypodiaceae* (*Polypodium*), *Sphagnum*. На протяжении всей зоны присутствуют споры *Lycopodium* (*L. annotinum*, реже *L. clavatum*). Заметно повышается концентрация *Botryococcus* и *Pediastrum*.

Палинозона 3 (3.07–2.45 см). Доминирующая роль пыльцы *Pinus* сохраняется, ее процентное содержание немного снижается и составляет в среднем 32–37%, отдельные пики достигают 47%. Доля пыльцы *Picea* существенно уменьшается, достигая значений 10–14% к концу зоны. Концентрация пыльцы *Betula*, напротив, заметно возрастает – с 11% в начале зоны до 26–27% – в конце. Роль пыльцы *Alnus glutinosa* также увеличивается от 6–8% в первой половине зоны до 13% – в конце (отдельные пики достигают 17 и 27%). Концентрация пыльцы *Betula nana* возрастает до 8–9%, обилие пыльцы *Alnus incana*, *Corylus* и *Salix* также повышается. Среди широколиственных пород сохраняется доминирующая роль пыльцы *Ulmus* (отдельные пики до 1–2%), также преобла-

дает пыльца *Carpinus* и *Fraxinus*. Содержание пыльцы *Tilia* падает, а пыльца *Quercus* исчезает к середине зоны совсем. Появляется пыльца *Ephedra* и *Alnaster*. Процент пыльцы травянистых и споровых растений продолжает расти, это отражается в увеличении их доли в общем составе групп растений в первой половине зоны – до 5–6 и 5–8% соответственно. Повышается разнообразие таксонов в травяно-кустарничковом ярусе, к преобладающим таксонам добавляются представители *Brassicaceae*. Повышается роль пыльцы разнотравья, семейств *Cyperaceae*, *Ranunculaceae* (*Ranunculus* – наоборот снижается) и рода *Artemisia*. Наблюдается существенное увеличение разнообразия и обилия пыльцы макрофитов. На протяжении всей зоны доминирует пыльца *Hydrocharis morsus-ranae* и *Potamogeton* sp. К середине зоны возрастает роль *Nuphar lutea*, а кривая *Myriophyllum* sp. постепенно исчезает. Также встречается пыльца *Alisma plantago-aquatica*, *Polygonum amphibium*, *Sparganium* sp., единично *Nymphaea candida*, *Iris pseudacorus*, *Typha latifolia*. Разнообразие споровых растений сохраняется, повышается обилие спор *Bryales*, в первой половине зоны увеличивается концентрация спор *Equisetum*. К концу зоны заметно уменьшается содержание зеленых водорослей *Pediastrum*. Появляются споры грибов *Glotus*, при этом их количество резко увеличивается к концу зоны.

Палинозона 4 (2.45–2.02 см). Высокая доля пыльцы *Betula* (около 25%) сохраняется, на протяжении всей зоны. Пыльца *Pinus* по-прежнему доминирует среди древесных пород, однако ее со-

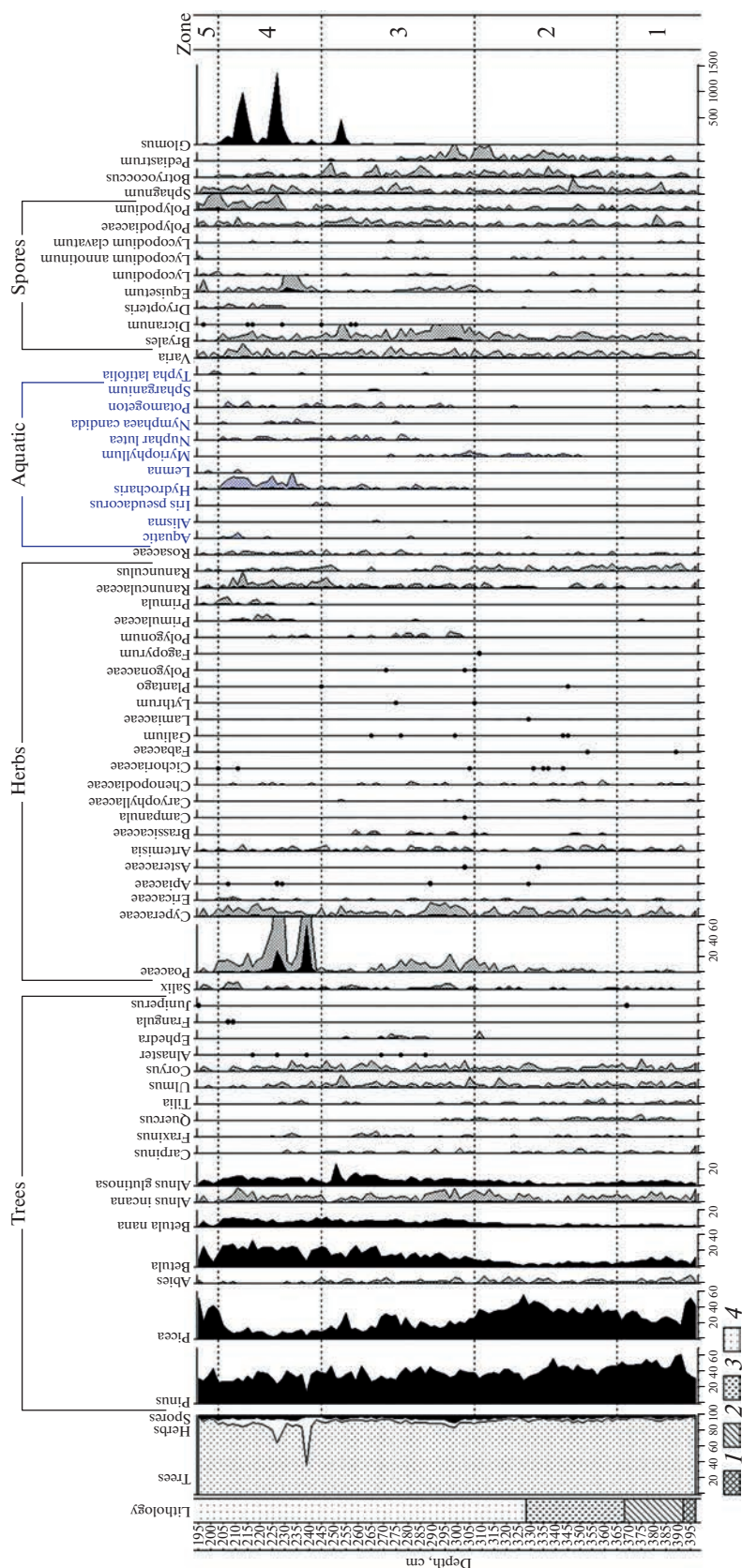


Рис. 4. Спорно-пыльцевая диаграмма оз. Витальевского.
Fig. 4. Pollen diagram of the Lake Vitalievskoye.

держание снижается от 37–40% в первой половине зоны до 27% в конце. Процентное содержание пыльцы *Picea* падает до 8–11%, отдельные значения в середине зоны составляет до 3–5%. Доля пыльцы *Alnus glutinosa* остается на довольно высоком уровне и колеблется от 6 до 12% на протяжении большей части зоны. Процент пыльцы *Betula nana* также довольно велик (7–10%). Обилие пыльцы широколиственных пород заметно уменьшается, пыльца *Carpinus*, *Fraxinus*, *Tilia* исчезает к середине зоны. Кривая пыльцы *Ulmus* постепенно прерывается и во второй половине зоны отмечена единично. Процент пыльцы *Corylus* и *Salix* также снижается к концу зоны, единично отмечена пыльца *Alnaster* и *Frangula*. Существенно меняется соотношение между основными группами растений. Роль древесных пород заметно снижается, в то время как доля трав повышается до 8–12%, а ярко выраженные пиковые значения достигает 18, 30 и 60%. Это связано с резким увеличением содержания пыльцы представителей семейства Роасеае в первой половине зоны — до 2–8% с отдельными пиками до 14, 27 и 59%. Общее разнообразие пыльцы травянистых пород немного снижается, к преобладающим таксонам также относится пыльца представителей семейств Суреаеае, Примулаеае, Ранункулаеае, Роасеае, Егисеае, родов *Artemisia*, *Primula*, *Ranunculus*; в меньшей мере — семейства Ченоподиасеае. Среди водных растений доминирует пыльца *Hydrocharis morsus-ranae*, кривая которой практически непрерывна на протяжении всей палинозоны. Также преобладает пыльца *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida*, *Potamogeton* sp., *Polygonum amphibium*; единично отмечена пыльца *Iris pseudacorus*, *Lemna minor* и *Typha latifolia*. Таксономическое разнообразие среди споровых растений сохраняется, доминируют споры *Equisetum*, *Polypodium*, Bryales, *Sphagnum*, Polypodiaceae. Встречены споры родов *Dicranum*, *Lycopodium* (включая *L. clavatum*), во второй половине зоны появляются споры *Dryopteris*. Кривая водорослей *Botryococcus* непрерывна, единично отмечен *Pediastrum*. Кривая спор грибов *Glomus* непрерывна, их обилие существенно колеблется в пределах зоны, отмечены несколько ярко выраженных пиков.

Палинозона 5 (2.02–1.95 см). Пыльца древесных пород вновь абсолютно доминирует в соотношении между основными группами растений (>92%). Доля пыльцы *Picea* сильно возрастает, ее процент колеблется от 22 до 52%. Пыльца *Pinus* также преобладает, ее значения варьируются в пределах 28–44%. Роль пыльцы *Betula* в целом снижается (6–14%, пик до 26%), как и пыльцы *Alnus glutinosa* (2–7%), *Betula nana* (>2%, пик до 6%), *Alnus incana* (<1%). Среди широколиственных пород единично отмечена пыльца *Ulmus*. Встречена пыльца *Corylus*, *Salix*, *Juniperus*. Таксономическое разнообразие среди трав и водных

растений невысокое. Среди травянистых пород присутствует пыльца представителей семейств Суреаеае, Ранункулаеае, единично Роасеае, Роасеае и родов *Artemisia*, *Primula*, *Ranunculus*. Среди макрофитов единично отмечена пыльца *Hydrocharis morsus-ranae*, *Lemna minor*, *Typha latifolia*. Разнообразие среди споровых растений сохраняется, преобладают *Polypodium*, *Sphagnum*, *Lycopodium*, Polypodiaceae. Зеленые водоросли *Botryococcus* и *Pediastrum* исчезают. Споры грибов *Glomus* присутствуют единично.

Диатомовый анализ. По данным диатомового анализа выделено 3 диатомовых зоны, соответствующих основным этапам изменения обстановок осадконакопления в котловине оз. Витальевского (рис. 5, 6).

Диатомовая зона 1 (4.12–3.90 м) характеризуется очень низкими значениями концентрации створок диатомовых водорослей (максимальные — около 7 млн в 1 г сухого осадка). Преобладают диатомеи-обрастатели (до 62%), из которых наиболее многочисленны *Denticula tenuis*, *Cocconeis* spp., *Cymbella sinuata*, *C. silesiaca*, *Gomphonema* spp., *Epithemia* spp., *Fragilaria* spp. (рис. 5). Планктонные диатомеи (26–28.5%) представлены, главным образом, *Aulacoseira islandica* и *Stephanodiscus* spp. Донные диатомеи (10–13%) представлены, в основном, видами рода *Amphora*, а также *Caloneis bacillum* и *Nitzschia fonticola*.

По отношению к активной реакции среды преобладают алкалофилы (33–49%) и нейтрофилы (до 40%). По отношению к трофности наиболее многочисленной группой являются виды, обитающие в широком диапазоне трофических условий (рис. 6), представленные преимущественно *A. islandica*. Относительное содержание эвтрофных диатомей составляет 26–28%, мезотрофных — 14–17%, мезо-эвтрофных — 9.2–11.0%. В зоне отмечается максимальное относительное содержание “ладожских” видов (32–43%), представленных, главным образом, *A. islandica*, *Cymbella sinuata*, *Didymosphenia geminata*, *Stephanodiscus medius* и *S. neoastrea*. Значения ИФР составляют 0.14–0.17.

В диатомовой зоне 2 (3.90–2.95 м) происходит резкое увеличение концентрации створок, которая составляет около 80 млн в нижней части зоны и 740 млн в 1 г сухого осадка в ее верхней части. При этом значения концентраций значительно варьируют. Для зоны характерно резкое изменение соотношения планктонных диатомей и обрастателей (рис. 6). Доля планктонных видов снижается до 9–12%. Они представлены, главным образом, *Aulacoseira islandica* и *A. subarctica* (рис. 5). У верхней границы зоны в составе диатомовых комплексов появляется планктонная *A. ambigua*. Численность обрастателей увеличивается на 10–20%, преобладают виды рода *Fragilaria*

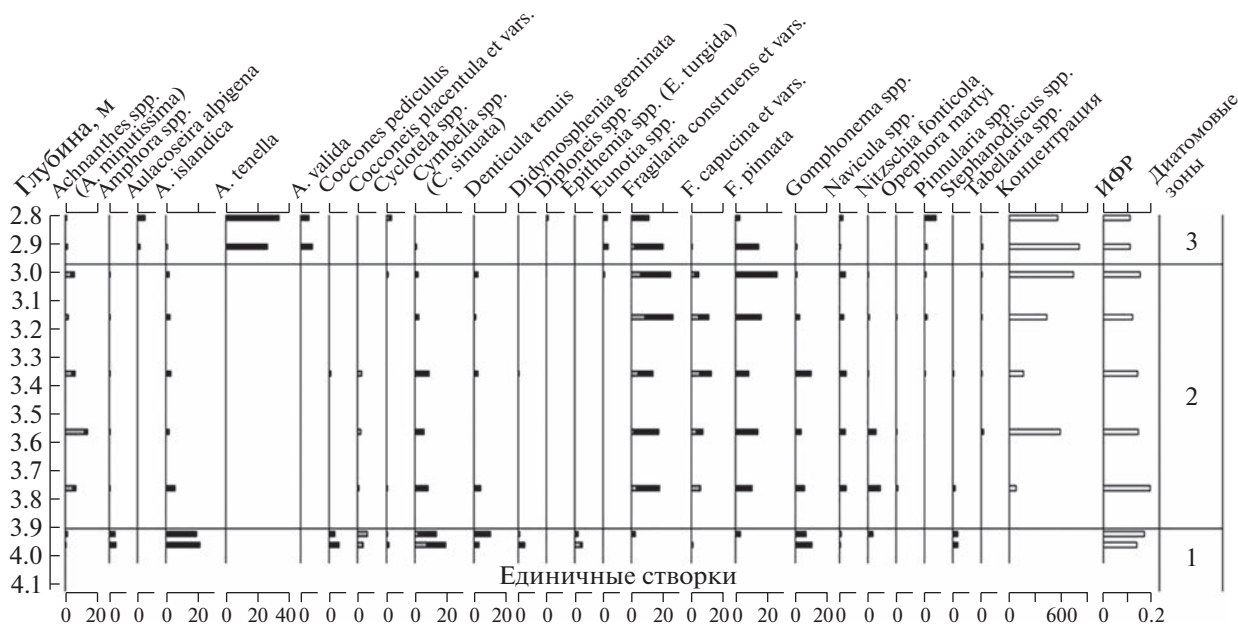


Рис. 5. Диадомовая диаграмма оз. Витальевского: относительное (%) содержание основных видов диадомей, концентрация створок в осадках (млн в 1 г сухого осадка), индекс флористического разнообразия (ИФР), диадомовые зоны.

Fig. 5. Diatom diagram, Lake Vitalievskoye: main diatom species (%), diatom concentration per 1 g of dry sediment, floristic diversity index, diatom zones.

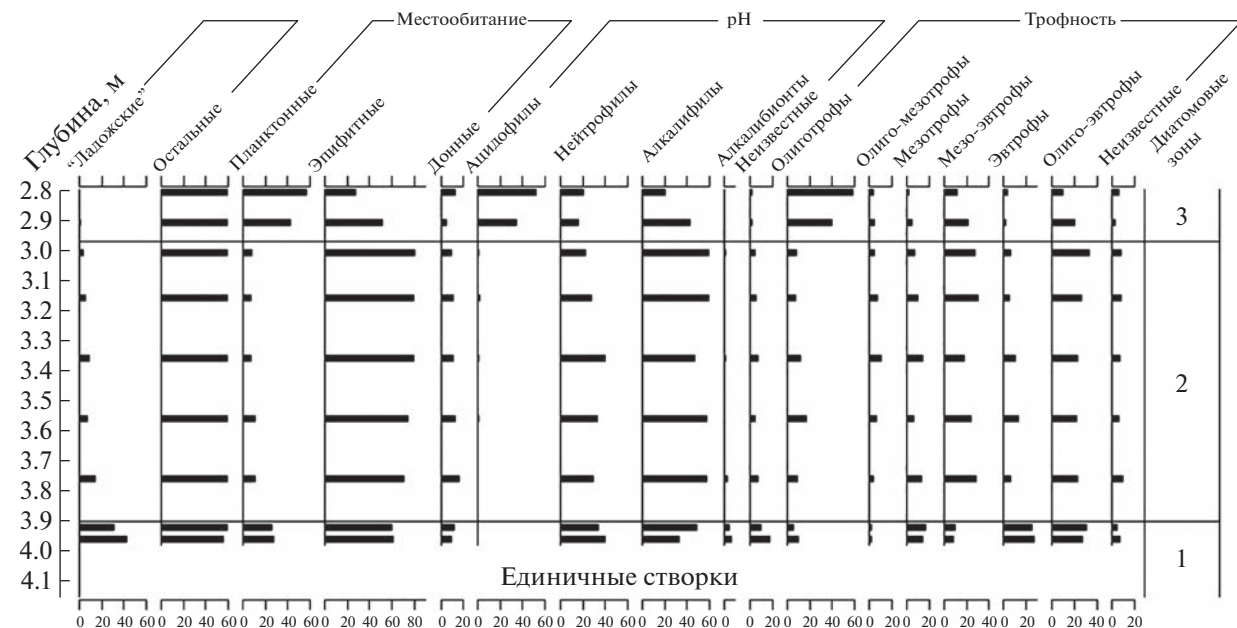


Рис. 6. Диадомовая диаграмма оз. Витальевского: относительное содержание основных экологических групп диадомей.

Fig. 6. Diatom diagram, Lake Vitalievskoye: proportions of main ecological groups of diatoms.

(*Fragilaria pinnata*, *F. construens* var. *venter* и *F. construens* var. *binodis*). Отмечается увеличение содержания обростателя *Achnanthes minutissima* (до 12%). При этом из состава диадомовых комплексов практически исчезают *Epithemia* spp., значительно снижается доля *Cymbella* spp. Среди донных диадомей наиболее многочисленны *Nitzschia fonticola* (в нижней части зоны) и *Navicula* spp.

По отношению к pH (рис. 6) по-прежнему преобладают алкалифилы (47–67%) и нейтрофилы (23–40%). По отношению к трофности наблюдается резкое увеличение содержания мезо-эвтрофных видов (до 18–31%). Доля эвтрофных видов составляет 11–13% в средней части зоны, сокращаясь до 6–7% у верхней границы диадомовой зоны 2. Численность "ладожских" видов так-

же снижается и составляет 15% в нижней части зоны и лишь 4% в верхней. Основным представителем этой группы являются *Aulacoseira islandica*, *Opephora martyi*, *Navicula aboensis* и *Achnanthes calcar*. ИФР достигает максимального значения — 0.20 в нижней части зоны, в дальнейшем снижаясь до 0.12–0.15.

В *диатомовой зоне 3* (2.95–2.80 м) концентрация створок составляет 500–800 млн на 1 г сухого осадка. Доля планктонных видов резко увеличивается до 43–58%. Среди планктонных диатомей доминирует *Aulacoseira tenella* (27–34%), многочисленны также *A. valida* (6–8%) и *A. alpigena* (до 5%). *A. islandica* исчезает из состава диатомовых комплексов. Сокращается доля обрастателей *Fragilaria* spp., *Achnanthes* spp., *Cymbella* spp., *Gomphonema* spp. (рис. 5). Отмечается некоторое увеличение численности обрастателей *Eunotia* spp. и донных *Pinnularia* spp. Резко меняется соотношение экологических групп по отношению к pH (рис. 6): доминируют ацидофилы (35–53%), тогда как доля алкалофилов и нейтрофилов снижается. По отношению к трофности наибольшей численности достигают олиготрофные виды (40–59%), численность мезо-эвтрофных, эвтрофных и олиго-эвтрофных диатомей сокращается по сравнению с зоной 2. Относительное содержание “ладожских” видов сокращается до <1%, представители этой группы отмечаются лишь единично. ИФР несколько снижается (0.12).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований выделены этапы развития оз. Витальевского в позднем голоцене под влиянием изменения уровня Ладожского озера. Радиоуглеродные датировки для колонки донных отложений оз. Витальевского (табл. 2) и других озер о-ва Валаам (Vuorela et al., 2001; Saarnisto, 2012) были получены ранее и использованы для нового исследования. Корреляция разрезов проводилась на основании литологических данных.

Этапы изоляции и самостоятельного развития озера по результатам комплексного исследования и опубликованным ранее радиоуглеродным датировкам

Этап развития озера до изоляции (>3300 кал. л. н.). Осадконакопление происходило в условиях водоема, непосредственно сообщавшегося с Ладожским озером, о чем свидетельствует высокая численность “ладожских” видов диатомовых водорослей (*диатомовая зона 1*). В это время здесь накапливались пески. Присутствие “ладожских” видов отмечалось в донных отложениях, приуроченных ко времени Ладожской трансгрессии в котловинах и других малых озер, расположенных

на о-вах Ладожского озера и Карельском перешейке (Лудикова, 2015). На рассматриваемом этапе котловина оз. Витальевского являлась частью глубоко врезанного в сушу залива Ладоги, характеризовавшегося небольшой глубиной и слабощелочными условиями среды.

В это время на о-ве Валаам преобладали елово-сосновые леса с небольшой примесью широколиственных пород, березы и черной ольхи. В начале периода (*палинозона 1*) роль ели была выше, однако в дальнейшем на изучаемой территории развиваются елово-сосновые леса с широколиственными породами и небольшой примесью берез. Широколиственные породы представлены вязом, дубом, грабом, липой и ясенем. В подлеске произрастали ольха, лещина и ива. Распространение и разнообразие травяно-кустарничкового яруса было невысоким, под лесным пологом развиваются в основном сообщества с представителями семейств Poaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae и другими представителями лесного разнотравья. Постоянное присутствие в этот период представителей *Artemisia* sp. и Chenopodiaceae, возможно, связано с заселением пионерной растительностью новых освобождаемых от воды территорий. На заболоченных участках растет *Betula nana*, а также представители Cyperaceae, Ericaceae, *Sphagnum* sp. и Bryales. Водная растительность, достаточно скудная, представлена *Potamogeton* sp. и *Sparganium* sp., распространены зеленые водоросли (*Botryococcus*, *Pediastrum*). Данный период можно отнести к суббореальному периоду голоцена. Подобная растительность ранее реконструирована для островов Валаам (Vuorela et al., 2001), Мантсинсаари (Delusin, Donner, 1995) и Путсаари (Сапелко и др., 2014; Сапелко, Корнеев, 2017), также расположенных в северной части Ладожского озера. Климат был теплым и влажным, о чем свидетельствует широкое распространение широколиственных пород.

Этап изоляции озера (от 3300–2940 до 2970–2770 кал. л. н.). На следующем этапе происходит смена осадконакопления и формируется алевритовая гиттия с низким содержанием органического вещества, не превышающим 1–2%. По данным М. Саарнисто алевритовая гиттия с прослоями грубого детрита формировалась в озере около 250 лет (Saarnisto, 2012). Скорость осадконакопления в это время была около 0.5 мм/год. Этот период (*диатомовая зона 2*) характеризуется снижением доли “ладожских” видов, что говорит об ослаблении связи с Ладожским озером в результате снижения его уровня. Изоляция оз. Витальевского привела к изменению условий среды, обусловленных уменьшением глубины и изменением других гидрологических, гидрохимических и гидробиологических факторов (ослабления гидродинамики, небольшого снижения pH и трофности). Осадконакопление происходит в

условиях мелководного, изолирующегося, зарастающего залива при возрастающем влиянии его собственного водосбора. О “переходных” обстановках, существовавших на данном этапе в котловине озера, свидетельствует высокое содержание мелкоклеточных водорослей-обрастателей *Fragilaria* spp. (*F. construens* et vars., *F. pinnata*), способных обитать в широком диапазоне условий, и массово развивающихся в озерах, недавно изолировавшихся от морских или крупных пресноводных бассейнов (Лудикова, 2015).

На этом этапе (*палинозона 2*) роль ели в формировании лесного покрова острова значительно возрастает, на территории Валаама развиваются елово-сосновые и сосново-еловые леса, роль березы снижается. К концу периода увеличивается роль *Betula nana*, что может свидетельствовать о начале заболачивания. Среди широколиственных пород преобладает вяз. Разнообразие в травяно-кустарничковом ярусе возрастает, доминируют представители злаковых, лютиковых, розоцветных, полыней, гвоздичных, цикориевых, крестоцветных и др. Среди споровых растений преобладают многожизненные папоротники, хвощи и плауны. Развита водно-болотная сообщество из представителей семейств осоковых и вересковых с моховым ярусом из сфагновых и бриевых мхов. Разнообразие макрофитов остается по-прежнему низким, однако начинается процесс заселения водной среды урутью, также отмечено присутствие рдестов. Климат становится прохладнее.

Этап развития изолированного озера (<2970–2770 кал. л. н.). На этом этапе начинается формироваться органогенная гиттия с содержанием органического вещества от 3 до 20%. Среди диатомовых водорослей (*диатомовая зона 3*) отмечается резкое увеличение численности ацидофилов, что свидетельствует о снижении pH среды. В этот период водосбор оз. Витальевского становится главным фактором, определяющим его гидрохимические характеристики, что указывает на полное прекращение связи отделившегося озера с Ладогой. Развитие олиготрофных диатомей связано с дефицитом биогенных элементов вследствие бедного минерального состава почв. С этого этапа осадконакопление происходило в условиях зарастающего водоема с чертами заболачивания, спокойного гидродинамического режима.

Для рассматриваемого периода (*палинозона 3*) характерно распространение на водосборе озера сосновых и елово-сосновых лесов с березой, снижение роли ели и постепенное увеличение роли березы в лесном ярусе. Постепенно береза, наравне с елью, становится видом-созидателем. Распространение березы может быть связано с вторичным зарастанием нарушенных антропогенным воздействием участков, а также с первичным зарастанием освобождавшихся от во-

ды территорий. Одновременно с разрастанием березняков в отложениях появляются индикаторы почвенной эрозии — споры грибов *Glomus* (Van Geel et al., 1989). Роль черной ольхи заметно возрастает, как и роль карликовой березы, что может говорить об увеличении площади сырых и заболоченных участков.

Доминирующая роль вяза среди широколиственных пород сохраняется, также встречаются ясеня и граб. Роль липы существенно снижается, а дуб встречен лишь в начале периода. Отмечено появление ольховника. Разнообразие среди трав и споровых растений продолжает расти, преобладающие таксоны пополняются представителями крестоцветных, видами хвощей, роль представителей Ranunculaceae, наоборот, немного падает. Водная среда начинает активно заселяться макрофитами. Появляется водокрас лягушачий, затем рдесты, горец земноводный; к середине периода разрастается кубышка желтая. Также встречаются частуха подорожниковая, кувшинка чисто-белая, ежеголовники и прибрежные виды — ирис ложноаировый, рогоз широколистный. С появлением других видов водных растений роль урути постепенно снижается и в середине периода она исчезает. В конце периода заметно уменьшается роль зеленых водорослей *Pediastrum*. Климатические условия ухудшаются, что индицируется снижением роли ели и некоторых широколиственных пород, что можно соотнести с началом субатлантического периода.

Этап зарастания изолированного озера (SA-2) (2770–1200 кал. л. н.). Дальнейшая история озера продолжается как история самостоятельного изолированного водоема. В это время (*палинозона 4*) на острове наблюдается господство сосновых лесов с березой. В растительном покрове продолжает снижаться роль ели, роль березы по-прежнему высокая, сохраняется доля черной ольхи и карликовой березы, также значительно возрастает доля спор грибов *Glomus*, что может свидетельствовать о продолжающихся процессах структурной перестройки водоема и продолжающегося сокращения водной поверхности. Широколиственные породы постепенно исчезают. В подлеске соснового леса растут лещина, крушина, ольховник. На сырых участках также растет ива. Значительные изменения происходят в соотношении между основными типами растительности — повышается общая роль трав и споровых растений. В первой половине периода в травяно-кустарничковом ярусе отмечены резкое увеличение доли и безусловное доминирование злаковых. Общее разнообразие яруса снижается, под пологом леса преобладают лютиковые (включая род лютик), первоцветные (включая род первоцвет), розоцветные, сорные виды полыни и маревых, среди споровых растений доминируют хвощи и многоножки. Также отмечены зонтичные, цикориевые,

Таблица 4. Вклад групп макрофитов в общую площадь покрытия дна малых озер Валаама (в %)
Table 4. Contribution of macrophyte groups to the total bottom coverage area of the Valaam Island small lakes (%)

Группа макрофитов	Озеро			
	Германовское	Зимняковское	Антониевское	Витальевское
Погруженные гидрофиты	56	1	19	16
Плавающие гидрофиты	5	64	61	14
Гелофиты	19	3	10	0
Гигрогелофиты и гигрофиты	20	32	10	70

дикранумы, плауны, появляются щитовники. На сырых участках растут представители осоковых, вересковых, сфагновые и бриевые мхи. Среди макрофитов отделившегося от Ладоги оз. Витальевского доминирует водокрас, который активно заселяет литоральную зону. Также преобладают кубышка желтая, кувшинка чисто-белая и рдесты. Отмечены также ряска и виды, растущие вдоль берегов и на мелководье — ирис ложноаирный, рогоз широколистный, горец земноводный. В водной среде обитают также зеленые водоросли *Botryococcus*, а *Pediastrum* практически исчезают. Климат становится холоднее. Фиксируется высокий уровень антропогенного воздействия на территории острова, на что указывают увеличение роли открытых травянистых сообществ и широкое распространение березы.

Этап антропогенного воздействия на экосистему изолированного озера (SA-3) (<1200 кал. л. н.). На последнем выделенном этапе (*палинозона 5*) отмечается резкое увеличение роли ели, можно говорить о развитии елово-сосновых и сосново-еловых лесов на водосборе озера. Доля березы в растительном покрове снижается в сравнении с предыдущим периодом, однако остается на довольно высоком уровне. Роль черной ольхи, карликовой березы также падает, вяз остается единственной отмеченной среди широколиственных деревьев породой. В подлеске растут лещина и можжевельник, ива. Разнообразие среди трав и споровых растений невелико, к встреченным таксонам относятся лютиковые (включая род лютик), злаковые, розоцветные, полыни, первоцвет, лесное разнотравье, среди споровых преобладают многоножки, плауны, хвощи. Водно-болотную растительность озера составляют осоковые, сфагновые и бриевые мхи. Водная растительность немногочисленна, представлена водокрасом, ряской и прибрежным рогозом широколистным. Зеленые водоросли не встречены.

Современный этап развития оз. Витальевского. В настоящее время оз. Витальевское представляет собой небольшой зарастающий и заболачивающийся водоем, с одной из сторон окруженный мощной сплавиной. На окружающей территории произрастают елово-сосновые леса в основном с

примесью берез. Площади, занятые водной растительностью (которая в основном представлена водокрасом лягушачьим, ряской малой и редкой кубышкой желтой), немного увеличились. В поверхностных пробах донных отложений встречается пыльца частухи подорожниковой, кувшинки чисто-белой, рдеста и ежеголовника (рис. 3). Геоботанический анализ зарастания озер о-ва Валаам показал, что характер их растительного покрова соответствует озерам с сильно гумифицированной водой. Слабое проникновение солнечного света в водную толщу, вызванное высоким содержанием окрашенного органического вещества в воде, способствует доминированию надводных (гелофиты и гигрогелофиты) и плавающих растений над погруженными растениями (Toivonen, Huttunen, 1995; Nurminen, 2003). Эта особенность, кроме оз. Витальевского, прослеживается для растительного покрова Зимняковского и Антониевского озер (табл. 4), в которых бедный видовой состав погруженной растительности (представленной преимущественно мхом *Fontinalis antipyretica*) сопровождался ее второстепенной ролью в зарастании дна водоемов. Следует также учитывать тот факт, что озера исследовались в июне, когда водные растения (особенно плавающие гидрофиты) еще не достигли своего максимума вегетационного развития, который наступает для водной растительности в августе (Газизова и др., 2023).

Этапы изоляции и самостоятельного развития озера по результатам изучения пыльцы макрофитов

Этапы, выделенные на основании динамики водных растений и палеорекострукции растительности, сопоставлены с реконструированными этапами развития оз. Витальевского: залив Ладожского озера, изолирующийся залив, обособленное развитие (рис. 7). Так, результаты изучения пыльцы макрофитов показали сокращение площади распространения и видового разнообразия водной растительности в период отделения оз. Витальевского от Ладожского озера, что подтверждает наши выводы предыдущих исследова-

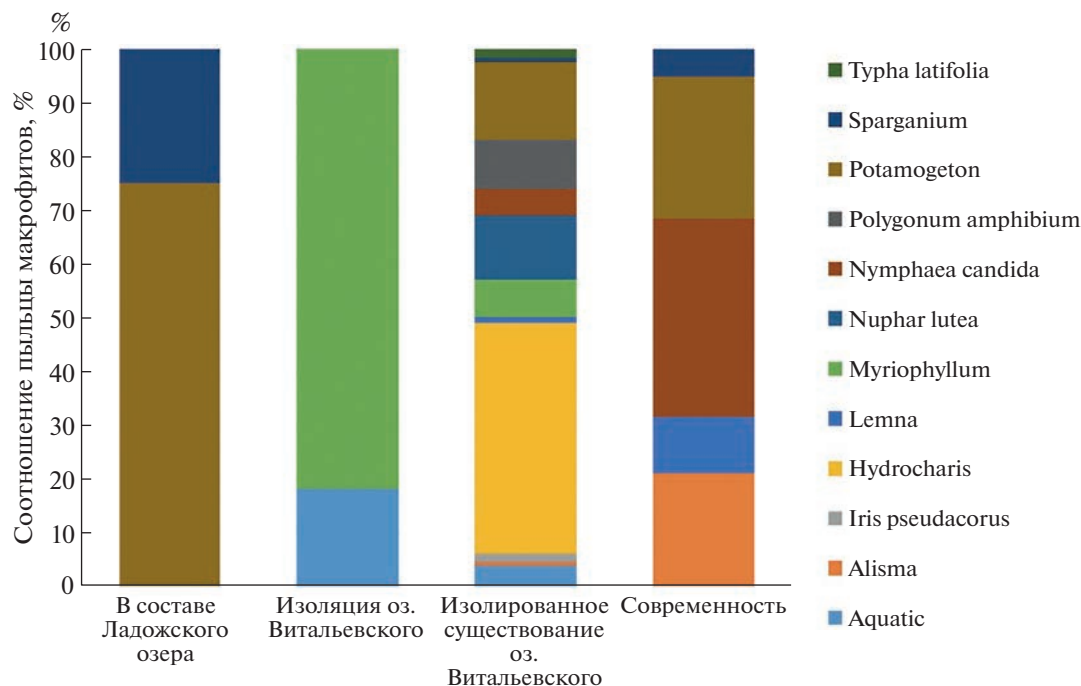


Рис. 7. Видовое разнообразие макрофитов на разных этапах развития оз. Витальевского.

Fig. 7. The species diversity of macrophytes at different stages of the Lake Vitalievskoye development.

дований на озерах о-ва Лункулансаари (Газизова, Сапелко, 2020).

По данным изучения донных отложений оз. Витальевского выполнена реконструкция процесса изоляции и дальнейшего развития отделившегося озера. По изучению пыльцы макрофитов выделены этапы развития озера в позднем голоцене, подтвержденные результатами литологического и диатомового анализов:

— Этап Ладожского озера (SB–2). До 2950 л. н. уровень Ладожского озера был выше современного уреза воды в оз. Витальевском (10.8 м), но, по-видимому, не выше современной отметки другого изучаемого озера на о-ве Валаам — оз. Антониевского (13 м), которое, по данным (Saarnisto, 2012), в это время уже изолировалось от Ладоги. Этот этап связан со среднеголоценовой Ладожской трансгрессией, завершившейся образованием р. Невы около 3200 л. н. (Saarnisto, Grönlund, 1996). Осадконакопление в котловине оз. Витальевского происходило в условиях мелководного Ладожского залива с активной гидродинамикой. Среди макрофитов отмечены *Potamogeton* sp. и *Sparganium* sp. (рис. 8).

— Период изоляции (SB–3). Снижение уровня Ладожского озера привело к изоляции оз. Витальевское, которое в интервале около 2950–2700 л. н. представляло собой мелководный зарастающий залив со слабой гидродинамикой, постепенно утрачивавший связь с Ладогой. Уровень Ладожского озера в этот период был немногим выше 10.8 м (современный уровень Ладожского озера

около 5 м). Макрофиты постепенно исчезают, как, например, *Potamogeton* sp. Появляется и абсолютно доминирует среди макрофитов только *Myriophyllum* sp.

— Этап обособленного развития оз. Витальевского. Начиная с 2740 л. н., прекращается поступление ладожских вод в котловину оз. Витальевского, уровень Ладоги опускается ниже 10-метровой отметки. Начинается постепенное массовое заселение литоральной зоны оз. Витальевского макрофитами (SA–1), среди которых доминируют *Hydrocharis morsus-ranae* и *Potamogeton* sp. Затем возрастает роль *Nuphar lutea*, а *Myriophyllum* sp. постепенно исчезает. Также появляются *Alisma plantago-aquatica*, *Polygonum amphibium*, *Sparganium* sp., единично *Nymphaea candida*, *Iris pseudacorus*, *Typha latifolia*.

— На следующем этапе развития полностью изолированного оз. Витальевского (SA–2) наступает период максимального развития водной растительности. По-прежнему постоянно доминирует *Hydrocharis morsus-ranae*. Также широко распространяются *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida*, *Potamogeton* sp., *Polygonum amphibium*. Отмечено небольшое зарастание берегов *Iris pseudacorus*, *Lemna minor* и *Typha latifolia*.

— Затем наступает следующий этап развития изолированного озера (SA–3). Площади, покрытые макрофитами, значительно сокращаются. Небольшие площади занимают лишь *Hydrocharis morsus-ranae*, *Lemna minor* и *Typha latifolia*. Подобное сокращение площади макрофитов было от-

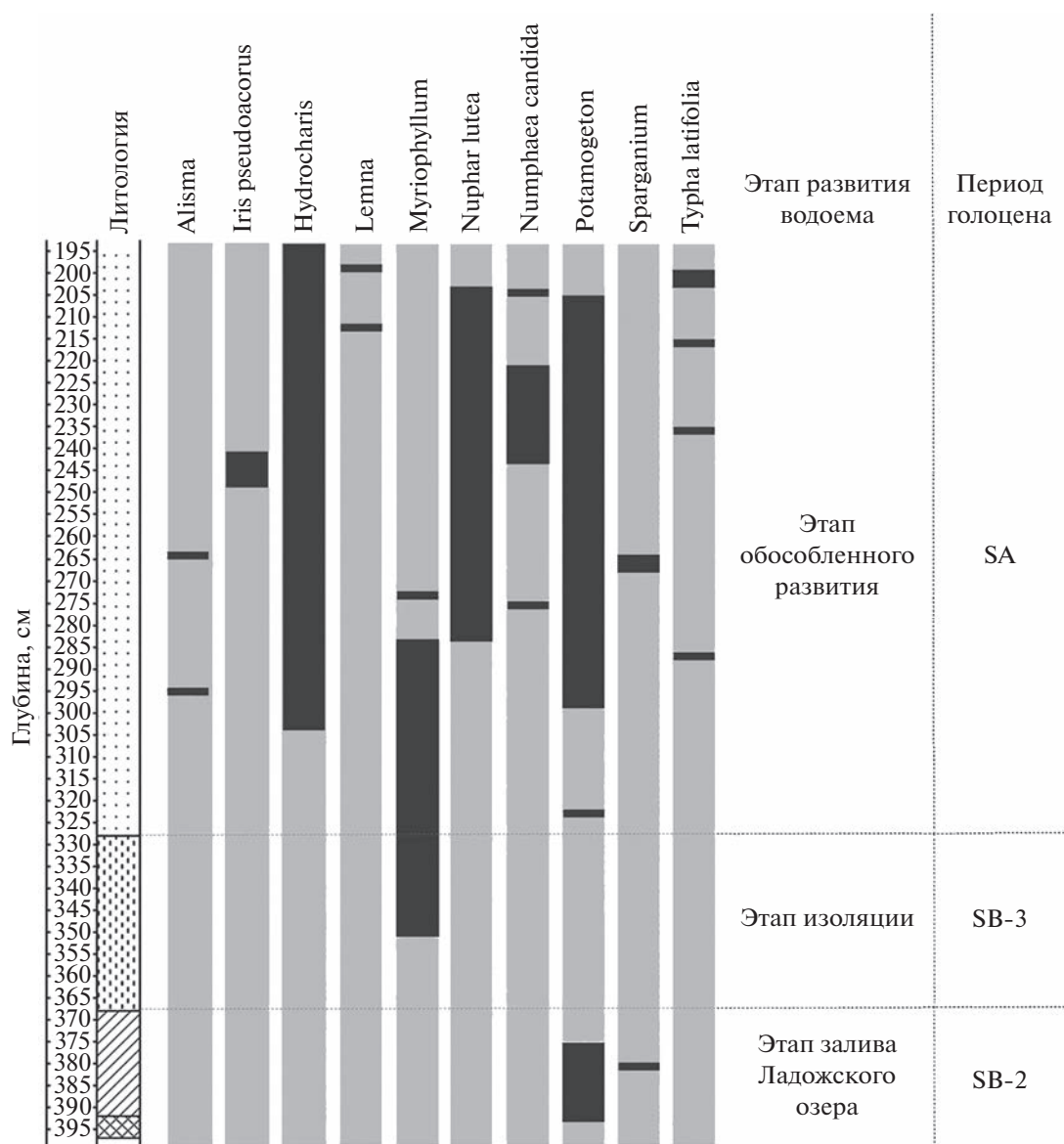


Рис. 8. Процесс заселения оз. Витальевского основными видами макрофитов и реконструированные этапы развития озера.
 Fig. 8. The process of main species of macrophytes settling Lake Vitalievskoye and reconstructed stages of the lake development.

мечено и для других озер о-ва Валаам. Так, например, для оз. Никоновское, расположенного на отметке 8.1 м над у. м., сокращение площади распространения водной растительности начинается около 1000 л. н. (Vuorela et al., 2001). Возможно, это было связано с изменением экосистемы озера из-за начала активного земледелия на о-ве Валаам.

В настоящее время озеро относится к слабо заросшим водоемам (9%). Преобладающим видом среди погруженных гидрофитов в настоящее время является мох *Fontinalis antipyretica*. Среди плавающих гидрофитов и гелофитов для оз. Витальевского в период исследования доминировали *Lemna minor* и *Hydrocharis morsus-ranae*. По результатам поверхностных проб преобладает

пыльца *Alisma* spp., *Lemna* spp., *Nymphaea candida*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выделены периоды, связанные с изоляцией оз. Витальевского от Ладожского озера и с его последующим самостоятельным развитием. Показана динамика растительности о-ва Валаам, связанная с природными и антропогенными факторами. Подробный палинологический анализ, данные которого сопоставлены с имеющимися радиоуглеродными датировками (Vuorela et al., 2001; Saarnisto, 2012), позволил охарактеризовать непрерывное осадконакопление с суббореального периода (SB-2 и SB-3) и в течение всего субатлантического периода (SA-1; SA-2; SA-3).

Осадконакопление в котловине оз. Витальевского происходило в условиях мелководного Ладожского залива с активной гидродинамикой, в котором слабо развивалась водная растительность с *Potamogeton* sp. и *Sparganium* sp. Растительность представляла собой в основном елово-сосновые леса с примесью широколиственных пород, березы и черной ольхи.

— Снижение уровня Ладожского озера привело к изоляции оз. Витальевского, которое в интервале около 2950–2700 л. н. представляло собой мелководный зарастающий залив со слабой гидродинамикой, постепенно утрачивавший связь с Ладогой. Уровень Ладожского озера в этот период был немногим выше 10.8 м. В период перестройки озерной экосистемы макрофиты, кроме *Myriophyllum*, практически отсутствовали. Вокруг развиваются елово-сосновые и сосново-еловые леса. Начиная с 2700 л. н., прекращается поступление ладожских вод в котловину оз. Витальевского, уровень Ладоги опускается ниже 10-метровой отметки. С этого этапа изолированное оз. Витальевское заселяют водные и прибрежно-водные растения *Hydrocharis morsus-ranae*, *Potamogeton* sp., *Nuphar lutea*, *Alisma plantago-aquatica*, *Polygonum amphibium*, *Sparganium* sp., *Nymphaea candida*, *Iris pseudacorus*, *Typha latifolia*, получив максимальное распространение. *Myriophyllum* постепенно исчезает. Широко распространяются сосновые леса с включением березы. На последнем этапе накопления озерных отложений распространение макрофитов снижается. Остаются постоянными доминантами лишь *Lemna minor* и *Hydrocharis morsus-ranae*. Елово-сосновые леса вновь получают распространение.

— Полученные результаты подтвердили ранее высказанную гипотезу о связи изоляции островных озер и временным исчезновением пыльцы водных растений, что позволяет говорить об индикаторной роли пыльцы макрофитов в исследованиях колебания уровня крупных водоемов. Стадии развития оз. Витальевского в связи с изменениями уровня Ладожского озера, выделенные по данным диатомового анализа, изменениям литологического состава и содержания органического вещества, получили подтверждение результатами палинологического анализа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Н.В. Игнатьевой и Л.И. Суворовой за гидрохимический анализ. Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № FMNG-2019-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В. (2020). Обоснование значения пыльцы макрофитов для палеолимнологических реконструкций на примере озер о. Лункулансаари на северо-востоке Ладожского озера // Биосфера. № 4. С. 21–30.

- Газизова Т.Ю., Русанов А.Г., Сапелко Т.В. (2023). Оценка сходства видового состава макрофитов современной водной растительности и субрецентных спорово-пыльцевых спектров малых озер на острове Валаам (Ладожское озеро) // Труды Карельского научного центра РАН. № 6. С. 73–83. <https://doi.org/10.17076/lim1703>
- Гричук В.П. (1940). Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа // Проблемы физической географии. Вып. 8. С. 53–58.
- Давыдова Н.Н. (1985). Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов голоцена. Л.: Наука. 224 с.
- Делюсина И.В. (1988). Биостратиграфия поздне- и послеледниковых отложений Ладожского озера и палеоклиматология Приладожья по палинологическим данным. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Таллин: Ин-т геологии АН ЭССР. 15 с.
- Катанская В.М. (1988). Высшая водная растительность // Методические аспекты лимнологического мониторинга. Л.: Наука. С. 102–113.
- Карякин И.В., Лапшин Р.Д., Шестакова А.А. (2009). ArcView GIS для экологов. Инструктивно-методическое пособие. Н. Новгород. 543 с.
- Кочубей О.В., Марков В.Е., Дзюба О.Ф. и др. (2012). Реконструкции природных обстановок ландшафтов средне- и позднеголоценового времени на основе комплексного использования палинологического и геохимического методов // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Биология. Вып. 2. С. 13–27.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972). Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука. Т. 1. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978). Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Lamiaceae — Zygophyllaceae. Л.: Наука. 184 с.
- Кучко А.А. (1983). Леса Валаама и их значение // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 5–33.
- Лудикова А.В., Субетто Д.А., Давыдова Н.Н. и др. (2005). Колебания уровня Ладожского озера в голоцене (на основе палеолимнологических исследований оз. Святого Сергия на о. Путсаари) // Известия РГО. Т. 137. Вып. 6. С. 34–41.
- Лудикова А.В. (2015). Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа // Известия РГО. Т. 147. Вып. 4. С. 38–51.
- Морозова Р.М., Лазарева И.П. (2002). Почвы и почвенный покров Валаамского архипелага. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 170 с.
- Папченков В.Г. (2001). Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ. 213 с.
- Сапелко Т.В., Корнеевкова Н.Ю. (2017). Реконструкция истории островных озер по данным палинологического и ботанического анализов // Актуальные проблемы современной палинологии / Мат-лы XIV Всерос. палинологической конф. М.: Географический факультет МГУ. С. 311–315.
- Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Корнеевкова Н.Ю. и др. (2014). Палеолимнология внутренних озер острова

- Путсаари (Ладожское озеро) // Известия РГО. Т. 146. Вып. 3. С. 29–40.
- Сапелко Т.В., Терехов А.В., Амантов А.В. (2018). Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Региональная геология и металлогения. № 75. С. 23–34.
- Степанова А.Б., Воякина Е.Ю., Зуева Н.В. и др. (2021). Водная система Валаамского архипелага. Малые лесные озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. СПб.: ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. С. 477–485.
- Субетто Д.А., Арсланов Х.А., Долуханов П.М. и др. (2005). Формирование стока Ладожского озера в голоцене и расселение человека // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий. СПб.: Наука. С. 207–214.
- Bennion H. (1995). Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status // *Diatom Research*. Vol. 10. P. 1–19.
<https://doi.org/10.1080/0269249X.1995.9705326>
- Delusina 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 Mantsinsaari // *Bull. Geol. Soc. Finl.* P. 39–50.
<https://doi.org/10.17741/bgsf/67.2.003>
- Grimm E.C. (2004). TGView. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield.
- Hedenström A., Risberg J. (1999). Early Holocene shore-displacement in southern central Sweden as recorded in elevated isolated basins // *Boreas*. Vol. 28. P. 490–504.
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00236.x>
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *J. Paleolimnology*. No. 25. P. 101–110.
- Juggins S. (2007). C2: Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation (user guide version 1.5). Newcastle upon Tyne: Newcastle University 77: 680.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/1. Bacillariophyceae. 1 Teil: Navicula-ceae. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1988). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/2. Bacillariophyceae. 1 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1991). *Bacillariophyceae / H. Ettl, J. Gerloff, H. Heying, D. Mollenhauer (Eds.) Su ßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/3. Stuttgart: Gustav. Fisher Verlag. 576 p.
- Nurminen L. (2003). Macrophyte species composition reflecting water quality changes in adjacent water bodies of lake Hiidenvesi, SW Finland // *Ann. Bot. Fennici*. Vol. 40. P. 199–208.
- Saarnisto M., Grönlund T. (1996). Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari // *Hydrobiologia*. Vol. 322. P. 205–215.
<https://doi.org/10.1007/BF00031829>
- Saarnisto M. (2012). Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // *Quat. Int.* No. 260. P. 143–152.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.005>
- Sapelko T., Kuznetsov D., Ludikova A. et al. (2020). The development of island lakes of Lake Ladoga during the Late Pleistocene Holocene // *Limnology and Freshwater Biology*. No. 4. P. 470–471.
<https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-470>
- Toivonen H., Huttunen P. (1995). Aquatic macrophytes and ecological gradients in 57 small lakes in southern Finland // *Aquat. Bot.* Vol. 51. P. 197–22.
[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(95\)00458-C](https://doi.org/10.1016/0304-3770(95)00458-C)
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. (1984). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth // J. Aquat. Ecol.* Vol. 28. C. 117–133.
<https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Van Geel B.C., Coope G.R., van der Hammen G.R. (1989). Palaeoecology and Stratigraphy of the Lateglacial Type Section at Usselo (The Netherlands) // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 60. P. 25–129.
- Vuorela I., Lempiäinen T., Saarnisto M. (2001). Land use pollen record from the Island of Valamo, Russian Karelia // *Ann. Bot. Fenn.* No. 38. P. 139–165.

LAKE VITALIEVSKOYE (VALAAM ISLAND) ISOLATION PROCESS AND VEGETATION DYNAMICS DUE TO CHANGES IN THE LEVEL OF THE LAKE LADOGA DURING THE LATE HOLOCENE¹

T. V. Sapelko^{a, #}, T. Yu. Gazizova^a, A. D. Moiseenko^b, A. V. Ludikova^a,
D. D. Kuznetsov^a, and A. G. Rusanov^a

^a*Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

^b*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[#]*E-mail: tsapelko@mail.ru*

The macrophyte pollen is a valuable source of information about lake level changes. Continuing our previous studies on the use of the macrophytes pollen analysis in the paleolimnology we studied the Lake Vitalievskoye sediments sequence of on the Valaam Island (the northern part of Lake Ladoga). To confirm the results of

¹ For citation: Sapelko T.V., Gazizova T.Yu., Moiseenko A.D. et al. (2023). Lake Vitalievskoye (Valaam Island) isolation process and vegetation dynamics due to changes in the level of the Lake Ladoga during the Late Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 4. P. 72–89. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178923040126>; <https://elibrary.ru/XWGH CZ>

pollen analysis we conducted lithological and diatom analyzes. The macrophytes distribution of the island lakes at the present time has been established with the help of geobotanical and pollen analyzes of the lacustrine surface sediments. As a result, a comprehensive study made it possible to establish the stages of the Lake Vitalievskoye development during the Late Holocene: The Lake Ladoga Bay stage with a slight overgrowth of aquatic vegetation; the lake isolation stage of the from Lake Ladoga, when macrophytes disappeared from the lake, and the lake independent development stage, when their maximum distribution occurred and later began to decline as a result of the human impact. According to our research of the Valaam Island lakes we have received new data about the modern distribution of macrophytes in the island lakes, their dynamics in the Late Holocene. We also conducted a methodological study establishing the macrophytes pollen role in studying the small island lakes history and the Lake Ladoga level.

Keywords: Lake Ladoga, island lakes, Valaam Island, Late Holocene, isolation, lake sediments, macrophytes, pollen, diatoms, lithology, organic matter

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to N.V. Ignatieva and L.I. Suvorova for hydrochemical analysis. The study contributes to the State Research Program of the Institute of Limnology – St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences on topic No. FMNG-2019-0001.

REFERENCES

- Bennion H. (1995). Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status. *Diatom Research*. Vol. 10. P. 1–19. <https://doi.org/10.1080/0269249X.1995.9705326>
- Davydova N.N. (1985). Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnykh uslovii vodoemov golotsena (Diatoms – indicators of natural conditions of Holocene reservoirs). Leningrad: Nauka (Publ.). 224 p. (in Russ.)
- Delusina 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 Mantsinsaari. *Bull. Geol. Soc. Finl.* P. 39–50. <https://doi.org/10.17741/bgsf/67.2.003>
- Delyusina I.V. (1988). Biostratigrafiya pozdne- i poslednikovykh otlozhenii Ladozhskogo ozera i paleoklimatologiya Priladozhya po palinologicheskim dannym (Biostratigraphy of late and postglacial deposits of Lake Ladoga and paleoclimatology of the Ladoga region according to palynological data). PhD thesis. Tallin: In-t geologii AN ESSR. 15 p. (in Russ.)
- Gazizova T.Yu., Rusanov A.G., Sapelko T.V. (2023). The similarity assessment of the macrophyte species composition between modern aquatic vegetation and sub-recent pollen spectra of small lakes on the Valaam Island (Lake Ladoga). *Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. No. 6. P. 73–83. (in Russ.). <https://doi.org/10.17076/lim170>
- Gazizova T.Yu., Sapelko T.V. (2020). Substantiation of the value of macrophyte pollen for paleolimnological reconstructions on the example of Lake Lunkulansaari in the north-east of Lake Ladoga. *Biosfera*. No. 4. P. 21–30. (in Russ.)
- Grichuk V.P. (1940). Methods of processing sedimentary rocks poor in organic residues for the pollen analysis purposes. *Problemy fizicheskoi geografii*. Vol. 8. P. 53–58. (in Russ.)
- Grimm E.C. (2004). *TGView*. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield.
- Hedenström A., Risberg J. (1999). Early Holocene shore-displacement in southern central Sweden as recorded in elevated isolated basins. *Boreas*. Vol. 28. P. 490–504. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00236.x>
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J Paleolimnology*. No. 25. P. 101–110.
- Juggins S. (2007). C2: Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation (user guide version 1.5). Newcastle upon Tyne: Newcastle University 77: 680.
- Karyakin I.V., Lapshin R.D., Shestakova A.A. (2009). ArcView GIS dlya ekologov. Instruktivno-metodicheskoe posobie (ArcView GIS for ecologists. Instructional and methodical manual). Nizhny Novgorod: NGPU. 543 p. (in Russ.)
- Katanskaya V.M. (1988). Higher aquatic vegetation. *Metodicheskie aspekty limnologicheskogo monitoringa*. Leningrad: Nauka (Publ.). P. 102–113. (in Russ.)
- Kochubej O.V., Markov V.E., Dzuba O.F. et al. (2012). Reconstructions of landscapes natural settings of the Middle and Late Holocene time based on the integrated use of palynological and geochemical methods. *Vestnik SPbGU. Ser. 3. Biologiya*. Vol. 3. No. 2. 2012. P. 13–27. (in Russ.)
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/1. Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1988). Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/2. Bacillariophyceae. 1 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1991). Bacillariophyceae. Ettl H., Gerloff J., Heying H., Mollenhauer D. (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Stuttgart: Gustav. Fisher Verlag. 576 p.
- Kuchko A.A. (1983). Forests of Valaam and their significance. *Prirodnye komplekсы Valaama i vozdeistvie na nikh rekreatsii*. Petrozavodsk: KF AN SSSR (Publ.). P. 5–33. (in Russ.)
- Kupriyanova L.A., Alyoshina L.A. (1972). Pyltsa i spory rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR (Pollen and spores of plants of the USSR European part flora). Leningrad: Nauka (Publ.). Vol. 1. 171 p. (in Russ.)

- Kupriyanova L.A., Alyoshina L.A. (1978). Pyltsa dvudol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. Lamiaceae – Zygophyllaceae (Pollen of dicotyledonous plants of the USSR European part flora. Lamiaceae – Zygophyllaceae). Leningrad: Nauka (Publ.). 184 p. (in Russ.)
- Ludikova A.V. (2015). Evidence of the Middle Holocene transgression of Lake Ladoga according to diatom analysis. *Izvestiya RGO*. Iss. 147. Vol. 4. P. 38–51. (in Russ.)
- Ludikova A.V. et al. (2005). Fluctuations in the Lake Ladoga level in the Holocene (based on paleolimnological studies of the Lake St. Sergius on Putsaari Island). *Izvestiya RGO*. Iss. 137. Vol. 6. P. 34–41. (in Russ.)
- Morozova R.M., Lazareva I.P. (2002). Pochvy i pochvennyi pokrov Valaamskogo arhipelaga (Soils and soil cover of the Valaam Archipelago). Petrozavodsk: KarNTS RAN (Publ.). 170 p. (in Russ.)
- Nurminen L. (2003). Macrophyte species composition reflecting water quality changes in adjacent water bodies of lake Hiidenvesi, SW Finland. *Ann. Bot. Fennici*. Vol. 40. P. 199–208.
- Papchenkov V.G. (2001). Rastitel'nyi pokrov vodoemov i vodotokov Srednego Povolzhya. Yaroslavl' (Vegetation cover of reservoirs and watercourses of the Middle Volga region). Yaroslavl': TSMP MUBiNT (Publ.). 213 p.
- Saarnisto M. (2012). Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia. *Quat. Int.* No. 260. P. 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.005>
- Saarnisto M., Grönlund T. (1996). Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari. *Hydrobiologia*. Vol. 322. P. 205–215
- Sapelko T., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V. et al. (2020). The development of island lakes of Lake Ladoga during the Late Pleistocene Holocene. *Limnology and Freshwater Biology*. No. 4. P. 470–471. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-470>
- Sapelko T.V., Korneenkova N.Yu. (2017). Reconstruction of the island lakes history according to palynological and botanical analyses. *Aktual'nye problemy sovremennoi palinologii: Mat-ly XIV Vseros. palinologicheskoi konf.* Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.). P. 311–315. (in Russ.)
- Sapelko T.V., Kuznetsov D.D., Korneenkova N.Yu. et al. (2014). Paleolimnology of the Putsaari Island inner lakes (Lake Ladoga). *Izvestiya RGO*. Iss. 146. Vol. 3. P. 29–40. (in Russ.)
- Sapelko T.V., Terexov A.V., Amantov A.V. (2018). Ladoga Transgression: reconstruction of the final stage and subsequent decline in the northern part of the lake. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. No. 75. P. 23–34. (in Russ.)
- Stepanova A.B., Voyakina E.Yu., Zueva N.V. et al. (2021). The water system of the Valaam Archipelago. Small forest lakes. *Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoi transformatsii ekosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyayushhegosya klimata*. St.-Petersburg: INOZ RAN – SPb FITS RAN (Publ.). P. 477–485. (in Russ.)
- Subetto D.A., Arslanov K.H.A., Dolukhanov P.M. et al. (2005). Formation of the runoff of Lake Ladoga in the Holocene and human settlement. *Ekologicheskoe sostoyanie kontinental'nykh vodoemov severnykh uslovii*. SPb.: Nauka (Publ.). P. 207–214. (in Russ.)
- Toivonen H., Huttunen P. (1995). Aquatic macrophytes and ecological gradients in 57 small lakes in southern Finland. *Aquat. Bot.* Vol. 51. P. 197–221.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. (1984). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* Vol. 28. P. 117–133. <https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Van Geel B.C., Coope G.R., van der Hammen G.R. (1989). Palaeoecology and Stratigraphy of the Lateglacial Type Section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*. 60. P. 25–129.
- Vuorela I., Lempiäinen T., Saarnisto M. (2001). Land use pollen record from the Island of Valamo, Russian Karelia. *Ann. Bot. Fenn.* No. 38. P. 139–165.