

УДК 574.589, 58.084.5

ОЦЕНКА СХОДСТВА ВИДОВОГО СОСТАВА МАКРОФИТОВ СОВРЕМЕННОЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СУБРЕЦЕНТНЫХ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ МАЛЫХ ОЗЕР НА ОСТРОВЕ ВАЛААМ (ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)

Т. Ю. Газизова*, А. Г. Русанов, Т. В. Сапелко

Институт озераведения РАН, СПб ФИЦ РАН (ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург,
Россия, 196105), *tssml@bk.ru

Приведены результаты изучения субрецентных спорово-пыльцевых спектров (СПС) и современной водной растительности четырех малых озер на о. Валаам в Ладожском озере – Германовского, Зимняковского, Антониевского и Витальевского. Установлено, что изученные островные озера представляют собой сильно гумифицированные слабозаросшие водоемы с характерной водной растительностью. Преобладающим видом погруженных гидрофитов озер Германовского, Антониевского и Витальевского является мох *Fontinalis antipyretica* Hedw. Среди плавающих гидрофитов и гелофитов в озерах Германовском и Зимняковском доминирует *Nuphar lutea* (L.) Smith; в оз. Антониевском – *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea candida* J. Presl. и *Potamogeton* spp.; в оз. Витальевском – *Lemna minor* L. и *Hydrocharis morsus-ranae* L. Рассмотрено сходство видового состава макрофитов субрецентных СПС и современной водной растительности озер. Высокий уровень сходства отмечен только в двух водоемах – оз. Антониевском, для которого значения качественных индексов Жаккара и Серенсена – Чекановского составляют 0,60 и 0,75 соответственно, и оз. Зимняковском с высоким значением количественного индекса Брея – Кертиса (0,76). Однако почти все доминирующие по площади зарастания на момент изучения современной растительности виды макрофитов представлены и в субрецентных СПС, что позволяет говорить о довольно адекватном отражении водных растений в поверхностных пробах озерных отложений. Полученные результаты показывают перспективность изучения пыльцы макрофитов в поверхностных пробах и колонках донных отложений озер для характеристики современных озерных экосистем, а также в палеоолиминологических исследованиях для реконструкции их динамики в прошлом.

Ключевые слова: макрофиты; субрецентные спорово-пыльцевые спектры; донные отложения; Ладожское озеро; островные озера

Для цитирования: Газизова Т. Ю., Русанов А. Г., Сапелко Т. В. 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. 2023. № 6. С. 73–83. doi: 10.17076/lim1703

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FMNG-0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

T. Yu. Gazizova*, A. G. Rusanov, T. V. Sapelko. THE SIMILARITY ASSESSMENT OF THE MACROPHYTE SPECIES COMPOSITION BETWEEN MODERN AQUATIC VEGETATION AND SUBRECENT POLLEN SPECTRA OF SMALL LAKES ON THE VALAAM ISLAND (LAKE LADOGA)

*Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences (9 Sevast'yanova St., 196105 St. Petersburg, Russia), *tssml@bk.ru*

The article presents the results of studying the subrecent pollen spectra (SPS) and modern aquatic vegetation of four small lakes on Valaam Island (Lake Ladoga) – Germanovskoye, Zimnyakovskoye, Antonievskoye, and Vitalievskoye. We have established that the lakes are humus-rich reservoirs slightly overgrown with typical aquatic vegetation. The moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. is the dominant species among submerged hydrophytes for lakes Germanovskoye, Antonievskoye, and Vitalievskoye. The dominant floating hydrophytes and helophytes are *Nuphar lutea* (L.) Smith for lakes Germanovskoye and Zimnyakovskoye; *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea candida* J. Presl., *Potamogeton* spp. for Lake Antonievskoye; *Lemna minor* L. and *Hydrocharis morsus-ranae* L. for Lake Vitalievskoye. The similarity of the macrophyte species composition between subrecent SPS and modern aquatic vegetation was analyzed. A high level of similarity was noted only for two lakes – Lake Antonievskoye with the qualitative Jaccard and Sorensen-Czekanowski indices at 0.60 and 0.75, respectively, and Lake Zimnyakovskoye with a high value of the quantitative Bray-Curtis index (0.76). However, almost all macrophyte species that dominated the overgrowth area during our study were present also in subrecent SPS, which suggests that top-core bottom samples quite adequately reflect modern aquatic vegetation. The results prove that studies of macrophyte pollen in the lake sediments hold promise for the study of modern lake ecosystems and for paleoreconstructions.

Keywords: macrophytes; subrecent pollen spectra; bottom sediments; Lake Ladoga; insular lakes

For citation: Gazizova T. Yu., Rusanov A. G., Sapelko T. V. The similarity assessment of the macrophyte species composition between modern aquatic vegetation and subrecent pollen spectra of small lakes on the Valaam Island (Lake Ladoga). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 6. P. 73–83. doi: 10.17076/lim1703

Funding. The study was carried out under state assignment to the Institute of Limnology RAS – St. Petersburg Research Centre RAS within the theme # FMNG-0154-2019-0001 “Integrated assessment of changes in the ecosystems of Lake Ladoga and reservoirs in its catchment under natural and human impacts”.

Введение

Неотъемлемой частью исследования современных озерных экосистем является изучение макрофитов – непосредственных обитателей водной среды, отражающих состояние и динамику водоемов. Накапливающаяся в донных отложениях пыльца водных растений имеет плохую сохранность и довольно редкую встречаемость, однако она служит ценным источником информации о процессах, происходивших в озерах за время их существования [Газизова, Сапелко, 2020]. Поверхностные пробы донных отложений озер содержат усредненную за последние несколько лет информацию о растительности в пределах водосбора. Важность изучения субрецентных спорово-пыльцевых спектров (далее – СПС), полученных путем палинологического анализа поверхностных проб,

для понимания особенностей распространения палеорастительности неоднократно доказана в работах палинологов [Гричук, Заклинская, 1948; Кабайлене, 1969; Чернова и др., 2006; Новенко и др., 2011, 2017; Носова и др., 2015]. Палинологический анализ основан на методе актуализма, поэтому для реконструкции растительности прошлых эпох необходимо изучение субрецентных СПС, являющихся отражением современной растительности в озерных отложениях, с которыми сравниваются результаты палеореконовструкций [Гричук, Заклинская, 1948].

Макроостатки макрофитов в отложениях озер используют в роли индикаторов потепления и похолодания климата, колебаний температуры и уровня водоемов, содержания химических элементов и загрязняющих веществ [Gałka et al., 2012, 2014; Gałka, Sznell, 2013]. С помощью изучения современного распро-

странения макрофитов также возможно определять динамику антропогенной нагрузки на водоем [Андроникова, Распопов, 2007]. Основную роль в палеореконструкциях играет пыльца наземных травянистых и древесных растений, пыльца макрофитов реже используется для подобных исследований в связи с небольшой методической базой. Тем не менее предыдущие исследования динамики растительности в прошлом по колонкам донных отложений озер на о. Валаам подтверждают значимость пыльцы макрофитов для палеоолимологических реконструкций [Vuorela et al., 2001]. Целью нашей работы является изучение водной растительности островных озер для усовершенствования методической основы использования ее пыльцы в палеореконструкциях.

В настоящей работе приводится характеристика зарастания малых озер на о. Валаам и рассматривается степень присутствия пыльцы водных растений в палиноспектрах поверхностных проб донных отложений путем оценки сходства видового состава макрофитов актуальной растительности и субрецентных СПС. Полученные с помощью геоботанических и палинологических исследований данные позволяют выявить закономерности отражения современных водных растений в субрецентных СПС и оценить возможности использования пыльцы макрофитов для палеореконструкций развития озерных экосистем.

Район исследования, материалы и методы

Полевые работы проводились в июне 2021 г. в рамках палеоолимологических исследований Института озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН на Ладожском озере на четырех озерах о. Валаам – Германовском, Зимняковском, Антониевском, Витальевском (рис. 1). Озера находятся на острове на различных абсолютных высотных отметках и образовались в позднем голоцене в результате изоляции от Ладожского озера [Сапелко и др., 2018]; в настоящее время это мелководные мезотрофные водоемы.

Валаам располагается в северной части акватории Ладожского озера, площадь острова составляет 28 км². Климат изучаемого региона находится под воздействием Ладожского озера, для него характерны значительные колебания температуры и высокая относительная влажность. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,6 °С; средняя температура января –6,5...–10 °С, средняя температура июля +16...+18,5 °С; среднегодовое количество осадков 600–850 мм [Степанова и др., 2021].

Во время полевых исследований проводилось описание окружающей озера наземной растительности; видовой состав и структура зарослей макрофитов фиксировались общепринятым методом глазомерного картирования в ходе объезда береговой линии на лодке [Катанская, 1988]. Схемы пространственного



Рис. 1. Расположение озер на о. Валаам (Источник: Yandex)

Fig. 1. Location of lakes on the Valaam Island (Source: Yandex)

распределения макрофитов, полученные во время картирования современной водной растительности, послужили основой для подсчета площадей зарослей макрофитов в среде ГИС ArcView 3.2 [Карякин и др., 2009]. Для оценки степени зарастания озер использовалась классификация В. Г. Папченкова [2001].

Отбор поверхностных проб осуществлялся с катамарана с использованием лота Воронкова. Образцы для палинологического анализа подготавливались по модифицированной в Институте озероведения РАН сепарационной методике В. П. Гричука [Пыльцевой..., 1950] с использованием тяжелой жидкости удельным весом 2,28 г/см³. Идентификация палиноморф проводилась по определителям [Куприянова, Алешина, 1967, 1972, 1978] и с использованием электронных палинологических баз данных (<https://www.paldata.org/>, <https://www.paleoaltai.com/sibpal>). Для каждой пробы было подсчитано статистически значимое количество пыльцы – 300–600 зерен древесных растений. Обработка данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы осуществлялись с помощью Tilia, Tilia-Graph, TGView [Grimm, 1999, 2004] и Microsoft Excel.

Для оценки сходства видового состава макрофитов применялись качественные и количественные коэффициенты сходства, рассчитанные в программе Past [Hammer et al., 2001]. Для качественной оценки сходства использовались коэффициент флористической общности Жаккара и коэффициент Серенсена – Чекановского, определяемые соответственно формулами:

$$I_J = \frac{a}{a+b+c} \text{ и } I_{Cs} = \frac{2a}{(a+b)+(a+c)}.$$

В данном случае a – число общих видов для двух списков, b – число видов, имеющих только в первом списке (современные макрофиты), c – только во втором списке (субрецентные СПС) [Песенко, 1982]. Формула Жаккара более строгая, а формула Серенсена – Чекановского более чувствительна при невысоком сходстве выборок – значения коэффициента при этом несколько выше [Методы..., 1975]. Для количественной оценки сходства был рассчитан коэффициент сходства Брея – Кертиса, отражающий как наличие общих таксонов в выборках, так и количественные соотношения между ними и определяемый формулой:

$$d_{jk} = 1 - \frac{\sum_i |x_{ji} - x_{ki}|}{\sum_i (x_{ji} + x_{ki})}.$$

Значения x_{ji} и x_{ki} отражают обилие i -го вида в списках j (субрецентные СПС) и k (современные макрофиты) [Песенко, 1982].

Результаты исследования

Результаты изучения современной водной растительности озер

Озеро Германовское имеет площадь 0,01 км², глубина достигает 3,7 м [Степанова и др., 2021], донные отложения представлены гиттиями. По степени зарастания озеро относится к слабозаросшим водоемам (площадь зарастания на момент изучения 7 %) (табл. 1).

Сплавина оз. Германовского небольшая, шириной в среднем 1–2 метра. Топкая часть шириной около 0,5 метра сложена осоками (*Carex rostrata*, *C. nigra* (L.) Reichard), *Phragmites australis*, *Naumburgia thyrsiflora* (L.) Reichenb., *Menyanthes trifoliata* L., *Calla palustris* L., сфагновыми мхами; на более сухих участках и куртинах появляются политриховые мхи. Под пологом подступающего к озеру леса произрастают *Ledum palustre* L., *Eriophorum vaginatum* L., *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Comarum palustre* L., *Oxycoccus palustris* Pers., *Drosera rotundifolia* L. Древесный ярус окружающей территории представлен *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) H. Karst., *Betula* spp., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Juniperus communis* L., *Betula nana* L.

Озеро Зимняковское имеет площадь 0,019 км², максимальная глубина достигает 2,1 м [Степанова и др., 2021], донные осадки сложены гиттиями и глинистыми песками. Озеро относится к слабозаросшим водоемам (6 %) (табл. 1).

Большую часть западного берега занимает сплавина, поросшая мхом (*Sphagnum* spp.) и влаголюбивым разнотравьем – *Naumburgia thyrsiflora*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Phragmites australis*, *Calla palustris*, *Equisetum fluviatile* L., *Juncus* spp. Узкой полосой вдоль уреза воды по сплавине протянулись заросли осок (*Carex rostrata*, *C. nigra*). На островках встречен *Galium aparine* L. На берегах также произрастают *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Oxycoccus palustris*, сфагновые и политриховые мхи; в древесном ярусе – *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula* spp., *Alnus glutinosa*, *Juniperus communis*.

Озеро Антониевское – это самый крупный водоем из исследованных, имеющий два вытянутых залива – северо-западный и юго-западный; его площадь составляет 0,028 км², глубина достигает 3,5 м [Степанова и др., 2021].

Таблица 1. Видовой состав и вклад макрофитов в общую площадь покрытия зеркала озер на о. Валаам

Table 1. Species composition and contribution of macrophytes to the total surface area of lakes on the Valaam Island

Виды Species	Германовское Lake Germanovskoye		Зимняковское Lake Zimnyakovskoye		Антониевское Lake Antonievskoye		Витальевское Lake Vitalievskoye	
	Площадь Area							
	м² m²	%	м² m²	%	м² m²	%	м² m²	%
Погруженные гидрофиты Submerged hydrophytes								
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	400	56	10	1	230	19	60	16
<i>Utricularia minor</i> L.	–	–	>1	–	–	–	–	–
Плавающие гидрофиты Floating hydrophytes								
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	–	–	–	–	–	–	30	9
<i>Lemna minor</i> L.	–	–	–	–	–	–	20	5
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	40	5	560	51	600	50	>1	–
<i>Nymphaea candida</i> J. Presl.	–	–	50	5	140	11	–	–
<i>Potamogeton natans</i> L.	–	–	90	8	–	–	–	–
Гелофиты Helophytes								
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	–	–	>1	–	–	–	–	–
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	140	19	–	–	–	–	–	–
<i>Sparganium</i> sp.	–	–	–	–	120	10	–	–
<i>Typha angustifolia</i> L.	–	–	30	3	–	–	–	–
Гигрогелофиты Hygrogelophytes								
<i>Calla palustris</i> L.	30	4	–	–	50	4	80	22
<i>Carex rostrata</i> Stokes	80	11	170	16	–	–	180	48
<i>Comarum palustre</i> L.	>1	–	10	1	10	1	>1	–
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	20	3	40	4	20	2	–	–
<i>Naumburgia thyrsiflora</i> (L.) Reichenb.	10	1	50	4	40	3	>1	–
Гигрофиты Hygrophytes								
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	10	1	80	7	–	–	–	–
Общая площадь Total area	720	100	1090	100	1200	100	370	100

Озеро относится к очень слабо заросшим водоемам (4 %).

Водная растительность занимает в основном узкую прибрежную полосу, протянувшуюся вдоль плесов между заливами. Центральная часть озера полностью лишена растительности. Плавающие растения (*Nuphar lutea*, *Nymphaea candida* J. Presl.) доминируют, занимая 61 % от общей площади зарастания. Небольшие фрагменты придонных зарослей *Fontinalis antipyretica* равномерно распределены в прибрежной полосе по всему озеру, образуя погруженный ярус растительности, занимающий 19 %. Гелофиты и гигрогелофиты играют сопутствующую роль, занимая 20 %. Гелофиты представлены также равномерно распределенным по всей прибрежной полосе *Sparganium* sp., куртины которого вместе с *Nuphar lutea* и *Nymphaea candida* формируют основу растительного пояса на плесах

озера. В заливах по урезу воды расположены мозаичные заросли гигрогелофитов, образованные *Calla palustris*, *Menyanthes trifoliata* и *Naumburgia thyrsiflora*.

Сплавины как таковой нет, лес подступает к береговой линии, где растут *Ledum palustre*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Eriophorum vaginatum*, *Calla palustris*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Oxycoccus palustris*, *Drosera rotundifolia*, *Ephedra* spp., сфагновые и политриховые мхи. Озеро окружено лесом из *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula* spp., *Alnus glutinosa*, *A. incana* (L.) Moench, *Juniperus communis*.

Озеро Витальевское является самым маленьким из изучаемых водоемов – площадь 0,005 км², максимальная глубина 1,9 м [Степанова и др., 2021]. Донные осадки представлены гиттиями и песками. Озеро относится к слабо заросшим водоемам (9 %).

ganium spp.; оз. Витальевское – *Alisma* spp., *Lemna* spp., *N. candida*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp.

Результаты оценки сходства видового состава макрофитов современной водной растительности озер и субрецентных СПС

При оценке сходства видового состава макрофитов (табл. 2) выборки включали в себя виды плавающих гидрофитов и гелофитов, встреченных при изучении современной растительности и в субрецентных СПС озер на о. Валаам. Споры мха *Fontinalis antipyretica* – погруженного гидрофита, занимающего значительные площади в Германовском и присутствующего в Антониевском и Витальевском озерах, не были идентифицированы при анализе и не учитывались при оценке.

При качественной оценке без учета обилия видов наблюдается довольно высокий уровень сходства видового состава макрофитов оз. Антониевского (значения индексов Жаккара и Серенсена – Чекановского 0,60 и 0,75 соответственно). Что касается количественного индекса Брея – Кертиса, низкие значения коэффициента указывают на невысокий уровень сходства видовой структуры (соотношения обилия таксонов). Из озер на о. Валаам высокое значение индекса отмечено для оз. Зимняковского (0,76), в котором по площади зарастания существенно преобладает *Nuphar lutea* – единственный встреченный в палиноспектрах озера макрофит.

Обсуждение результатов

Полученные данные анализа субрецентных СПС озер на о. Валаам (рис. 2) отражают как региональные условия (доминирование на территории острова сосновых лесов с елью и

березой), так и сугубо локальные условия (таксономический состав макрофитов, водно-болотных видов и др.). Разнообразие травянистых растений, радиус разноса пыльцы которых ограничен пределами ареала, показывает состав береговой растительности и травяного яруса в окружающих озера лесах. Дальность распространения пыльцы широколиственных пород и кустарников также в большинстве своем ограничена ареалом [Сладков, 1967], что свидетельствует о достоверном присутствии широколиственных пород в окружающих озера лесах.

Анализ зарастания изученных озер показывает, что характер их водной растительности в целом соответствует озерам с сильно гумифицированной водой. Все водоемы характеризуются повышенной цветностью воды вследствие заболоченности водосбора. Недостаток подводной освещенности, вызванный высоким содержанием гуминовых веществ, способствует доминированию надводных и плавающих растений над погруженными растениями [Toivonen, Huttunen, 1995; Nurminen, 2003]. Эта особенность хорошо прослеживается для растительного покрова трех озер – Зимняковского, Антониевского и Витальевского, в которых бедный видовой состав погруженной растительности (представленной исключительно мхом *Fontinalis antipyretica*) сопровождается ее второстепенной ролью в зарастании дна водоемов. Вероятно, более пологое дно оз. Германовского и, как следствие, лучшие условия подводной освещенности благоприятствуют обильному развитию *Fontinalis antipyretica*.

Несмотря на неоднозначные результаты оценки сходства (табл. 2), большинство доминирующих по площади зарастания на момент изучения растительности видов макрофитов (табл. 2) встречены при палинологическом анализе озерных отложений (табл. 3). Также

Таблица 2. Данные оценки сходства видового состава макрофитов современной растительности и субрецентных СПС озер на о. Валаам

Table 2. Data on the species composition similarity of macrophytes between modern vegetation and subrecent SPS of lakes on the Valaam Island

	Германовское Lake Germanovskoye	Зимняковское Lake Zimnyakovskoye	Антониевское Lake Antonievskoye	Витальевское Lake Vitalievskoye
Качественные индексы Quality indexes				
Индекс Жаккара Jacquard Index	0,33	0,25	0,60	0,14
Индекс Серенсена – Чекановского Sorensen – Chekanovsky Index	0,50	0,40	0,75	0,25
Количественные индексы Quantitative indexes				
Bray – Curtis Index	0,33	0,76	0,41	0,11

отмечена пыльца присутствующих и/или преобладающих в субрецентных СПС макрофитов, но не участвующих в зарастании озера на момент изучения (*Potamogeton* spp. и *Myriophyllum* spp. для оз. Антониевского; *Nymphaea candida*, *Potamogeton* spp., *Alisma* spp., *Sparganium* spp. для оз. Витальевского). Скорее всего, данные растения исчезли из водоемов сравнительно недавно в результате естественных сукцессионных процессов. Особенно это актуально для оз. Витальевского, которое ввиду небольшой площади зеркала и высокой интенсивности процессов зарастания и заболачивания является наиболее динамично развивающимся водоемом среди изученных. Широкое распространение в нем *Lemna minor* связано, возможно, с большой степенью органической нагрузки, высокой продуктивностью водоема, мелководностью и другими морфометрическими характеристиками озера [Асатрян и др., 2016].

Дальнейшие исследования особенностей отражения макрофитов в субрецентных СПС в других водоемах будут способствовать уточнению полученных результатов и в будущем могут быть использованы для изучения закономерностей сукцессионного развития малых озер. В настоящее время процессы зарастания исследуются в основном с помощью установления сукцессионных связей на основе ежегодного изучения пространственных (экологических и фитоценологических) рядов [Конограй, 2014]. Поверхностные пробы содержат усредненную информацию о растительности озер и их водосборов за последние 3–5 лет. Выявленные в ходе наших работ особенности отражения макрофитов в субрецентных СПС позволят получать данные о многолетней динамике растительности и изучать процессы зарастания водоемов без необходимости проведения ежегодного мониторинга. Это также упростит изучение динамики антропогенной нагрузки на водоемы с использованием макрофитов в качестве индикаторов загрязненности водоемов поллютантами, требующее регулярных исследований [Андроникова, Распопов, 2007].

Для интерпретации результатов и их использования в палеореконструкциях полученные палинологические данные обычно сравнивают с данными изучения растительных макроостатков для их уточнения и подтверждения. Исследований макроостатков макрофитов и их индикаторной роли проводится в настоящее время значительно больше [Gałka et al., 2012, 2014; Gałka, Sznell, 2013], чем исследований пыльцы макрофитов. Например, присутствие видов рода *Typha* в отложениях раннего голоцена может индизировать потепление климата, а на-

личие *Potamogeton natans*, *Nymphaea alba* L. и *Typha* spp., обычно произрастающих в мелководных озерах, – указывать на понижение уровня водоемов. Присутствие видов *Potamogeton*, *Nymphaea* и *Typha* в субрецентных СПС на о. Валаам также служит индикатором мелководности изучаемых озер.

Имеющиеся немногочисленные работы по изучению колонок донных отложений озер палинологическим методом с использованием динамики пыльцы макрофитов [Vuorela et al., 2001; Газизова, Сапелко, 2020 и др.] показывают значение пыльцы водных растений для палеорекоkonструкций колебания уровня водоемов и динамики озерных экосистем в прошлом. Усиление антропогенной деятельности и последующая эвтрофикация водоемов также отражается в палиносpectрах – наблюдается разрастание *Myriophyllum spicatum*, *Nymphaea* spp., *Alisma* spp., *Potamogeton* spp. и других видов макрофитов [Vuorela et al., 2001]. Появление данных видов свидетельствует и о процессах естественной эвтрофикации. Таким образом, высокое обилие *Potamogeton* spp., *Nymphaea candida*, *Alisma* spp. в субрецентных СПП оз. Витальевского (табл. 3) подтверждает высокое содержание органических веществ в водоеме, установленное в ходе полевых исследований.

Выводы

При изучении современной водной растительности озер на о. Валаам установлено, что исследованные водоемы – сильно гумифицированные, с характерной водной растительностью. Преобладающим видом среди погруженных гидрофитов в озерах Германовском, Антониевском и Витальевском является мох *Fontinalis antipyretica*. Среди плавающих гидрофитов и гелофитов доминируют: для озер Германовского и Зимняковского – *Nuphar lutea*; для оз. Антониевского – *N. lutea*, *Nymphaea candida* и *Potamogeton* spp.; для оз. Витальевского – *Lemna minor* и *Hydrocharis morsus-ranae*. По степени зарастания озера относятся к слабо и очень слабо заросшим водоемам (4–9 % от площади зеркала).

По результатам палинологического анализа поверхностных проб донных отложений изучаемых водоемов в оз. Германовском отмечена пыльца *N. lutea*, *N. candida*, *Potamogeton* spp.; в оз. Зимняковском – пыльца *N. lutea*; в оз. Антониевском – пыльца *Myriophyllum* spp., *N. lutea*, *N. candida*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp.; в оз. Витальевском – пыльца *Alisma* spp., *Lemna* spp., *N. candida*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp.

Таблица 3. Присутствие макрофитов в субрецентных СПС и поверхностных пробах озерных отложений
Table 3. The presence of macrophytes in subrecent SPS and surface samples of lake sediments

Озеро Lake	Макрофиты, пыльца которых встречена в субрецентных СПС Macrophytes whose pollen is found in subrecent SPS	% от всей пыльцы % of all pollen	Макрофиты, встреченные во время описания современной растительности Macrophytes found during the modern vegetation description	% от общей площади гидрофитов и гелофитов % of the total area of hydrophytes and helophytes
Германовское Lake Germanovskoye	<i>Nuphar lutea</i>	33,3	<i>Nuphar lutea</i> *	100
	<i>Nymphaea candida</i>	33,3	<i>Nymphaea candida</i>	–
	<i>Potamogeton</i> sp.	33,3	<i>Potamogeton</i> sp.	–
Зимняковское Lake Zimnyakovskoye	<i>Nuphar lutea</i>	100	<i>Nuphar lutea</i> *	76
	<i>Nymphaea candida</i>	–	<i>Nymphaea candida</i>	7,5
	<i>Potamogeton natans</i>	–	<i>Potamogeton natans</i>	12
	<i>Typha angustifolia</i>	–	<i>Typha angustifolia</i>	4,5
Антониевское Lake Antonievskoye	<i>Myriophyllum</i> sp.	18	<i>Myriophyllum</i> sp.	–
	<i>Nuphar lutea</i>	23	<i>Nuphar lutea</i> *	70,5
	<i>Nymphaea candida</i>	9	<i>Nymphaea candida</i>	15,5
	<i>Potamogeton</i> sp.	41	<i>Potamogeton</i> sp.	0
	<i>Sparganium</i> sp.	9	<i>Sparganium</i> sp.	14
Витальевское Lake Vitalievskoye	<i>Alisma</i> sp.	21	<i>Alisma</i> sp.	–
	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	–	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> *	62
	<i>Lemna</i> sp.	10,5	<i>Lemna minor</i> *	34,5
	<i>Nuphar lutea</i>	0	<i>Nuphar lutea</i>	3,5
	<i>Nymphaea candida</i>	37	<i>Nymphaea candida</i>	–
	<i>Potamogeton</i> sp.	26,5	<i>Potamogeton</i> sp.	–
	<i>Sparganium</i> sp.	5	<i>Sparganium</i> sp.	–

Примечание. Символом * отмечены доминанты на момент изучения современной водной растительности.
Note. The symbol * indicates the dominant at the time of studying modern aquatic vegetation.

Данные указанного анализа демонстрируют различный уровень сходства с материалами изучения современной водной растительности озер. Для оз. Антониевского выявлен наибольший качественный уровень сходства (значения индексов Жаккара и Серенсена – Чекановского составляют 0,60 и 0,75 соответственно); для оз. Зимняковского наблюдается высокое значение количественного индекса Брея – Кертиса (0,76). Для озер Германовского и Витальевского отмечаются невысокие индексы сходства. Однако практически все виды макрофитов, доминирующие по площади зарастания на момент изучения современной водной растительности, представлены в субрецентных СПС, что позволяет говорить о довольно адекватном отражении современной водной растительности в поверхностных пробах озерных отложений.

Полученные результаты занимают значимое место среди работ аналогичной тематики. Они показывают перспективность изучения пыльцы макрофитов в поверхностных пробах и колонках донных отложений озер для характеристики современных озерных экосистем (в частности, видового состава водной растительности и доминантов по зарастанию), а также в палеоэкологических исследованиях для реконструкции их динамики в прошлом.

Литература

- Андроникова И. Н., Распопов И. М. Зоны экологического риска в прибрежных районах Ладожского озера // Биология внутренних вод. 2007. № 2. С. 2–10.
- Асатрян В. Л., Барсегян Н. Э., Варданян Т. В., Епремян Э. В., Айрапетян А. О., Даллакян М. Р., Габриелян Б. К. Анализ состояния биоценозов на мелководьях Малого Севана (Армения) в период повышения уровня воды // Биология внутренних вод. 2016. № 1. С. 3–10. doi: 10.7868/S0320965216010034
- Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В. Обоснование значения пыльцы макрофитов для палеоэкологических реконструкций на примере озер острова Лункулансари (северо-восток Ладожского озера) // Биосфера. 2020. Т. 12, № 4. С. 231–241. doi: 10.24855/biosfera.v12i4.566
- Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 224 с.
- Кабайлене М. В. Формирование пыльцевых спектров и методы восстановления палеорастиельности. Вильнюс: Минтис, 1969. 148 с.
- Катанская В. М. Высшая водная растительность // Методические аспекты лимнологического мониторинга. Л.: Наука, 1988. С. 102–113.
- Карякин И. В., Лапшин Р. Д., Шестакова А. А. ArcView GIS для экологов. Инструктивно-методическое пособие. Н. Новгород, 2009. 543 с.

- Конограй В. А. Особенности зарастания Кременчугского водохранилища // Биология внутренних вод. 2014. № 2. С. 54–60. doi: 10.7868/S0320965214020065
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Палинологическая терминология покрытосеменных растений. Л.: Наука, 1967. 86 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 171 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Lamiaceae – Zygophyllaceae. Л.: Наука, 1978. 184 с.
- Методы почвенно-зоологических исследований: Сб. ст. / Отв. ред. М. С. Гиляров. М.: Наука, 1975. 279 с.
- Новенко Е. Ю., Носова М. Б., Красноруцкая К. В. Особенности поверхностных спорово-пыльцевых спектров южной тайги восточно-европейской равнины // Известия Тульского гос. ун-та. 2011. № 2. С. 345–354.
- Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Зерницкая В. П. Рецентные спорово-пыльцевые спектры заповедных территорий европейской части России как ключ к интерпретации результатов палеоэкологических исследований // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2, № 2. С. 55–65. doi: 10.24189/ncr.2017.012
- Носова М. Б., Северова Е. Э., Волкова О. А. Многолетние исследования современных палинологических спектров в средней полосе европейской части России // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2015. Т. 120, № 6. С. 42–50.
- Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль, 2001. 213 с.
- Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Пыльцевой анализ / Сост. А. Н. Гладкова, В. П. Гричук, Е. Д. Заклинская [и др.]; ред. И. М. Покровская; под общ. ред. А. Н. Криштофовича. М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1950. 572 с.
- Сапелко Т. В., Терехов А. В., Амантов А. В. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Региональная геология и металлогения. 2018. № 75. С. 23–34.
- Сладков А. Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. М.: Наука, 1967. 270 с.
- Степанова А. Б., Воякина Е. Ю., Зуева Н. В. и др. Водная система Валаамского архипелага. Малые лесные озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Ред. С. А. Кондратьев, Ш. Р. Поздняков, В. А. Румянцев. СПб., 2021. С. 477–485.
- Чернова Г. М., Денисенков В. П., Ломова Е. И. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры северо-западного Приладожья на примере Ладожской учебно-географической базы // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 7, № 1. С. 70–79.
- Galka M., Tobolski K., Kołaczek P. The Holocene decline of slender naiad (*Najas flexilis* (Willd.) Rostk. & Schmidt) in NE Poland in the light of new paleobotanical data // Acta Palaeobot. 2012. Vol. 52. P. 127–138.
- Galka M., Tobolski K., Zawisza E. et al. Postglacial history of vegetation, human activity and lake-level changes at Jezioro Linówek in northeast Poland, based on multi-proxy data // Veget. Hist. Archaeobot. 2014. Vol. 23. P. 123–152. doi: 10.1007/s00334-013-0401-7
- Galka M., Sznel M. Late Glacial and Early Holocene development of lakes in northeastern Poland in view of plant macrofossil analyses // Quat. Int. 2013. Vol. 292. P. 124–135. doi: 10.1016/j.quaint.2012.11.014
- Grimm E. C. Tilia and Tilia-Graph PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, working group on data-handling methods // Newsletter. 1999. Vol. 4. P. 5–7.
- Grimm E. C. TGView 2.0.2 (Software). Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center, 2004.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4, no. 1. P. 9.
- Nurminen L. Macrophyte species composition reflecting water quality changes in adjacent water bodies of Lake Hiidenvesi, SW Finland // Ann. Bot. Fenn. 2003. Vol. 40. P. 199–208.
- Toivonen H., Huttunen P. Aquatic macrophytes and ecological gradients in 57 small lakes in southern Finland // Aquat. Bot. 1995. Vol. 51. P. 197–22.
- Vuorela I., Lempiäinen T., Saarnisto M. Land use pollen record from the Island of Valamo, Russian Karelia // Ann. Bot. Fenn. 2001. Vol. 38. P. 139–165.

References

- Andronikova I. N., Raspopov I. M. Risk zones in the coastal areas of Lake Ladoga. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2007;2:2–10. (In Russ.)
- Asatryan V. L., Barseghyan N. E., Vardanyan T. V., Yepremyan H. V., Hayrapetyan A. O., Dallakyan M. R., Gabrielyan B. K. Analysis of the state of biocenoses that formed in shallow areas of Small Sevan (Armenia) during the period of lake's water level rise. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2016;9(1). doi: 10.1134/S199508291601003X (In Russ.)
- Chernova G. M., Denisenkov V. P., Lomova E. I. Subrecent spore-pollen spectra of the northwestern Ladoga region on the example of the Ladoga educational and geographical base. *Vestnik of St. Petersburg University*. 2006;7(1):70–79. (In Russ.)
- Galka M., Tobolski K., Kołaczek P. The Holocene decline of slender naiad (*Najas flexilis* (Willd.) Rostk. & Schmidt) in NE Poland in the light of new paleobotanical data. *Acta Palaeobot*. 2012;52:127–138.
- Galka M., Tobolski K., Zawisza E. et al. Postglacial history of vegetation, human activity and lake-level changes at Jezioro Linówek in northeast Poland, based on multi-proxy data. *Veget. Hist. Archaeobot*. 2014;23:123–152. doi: 10.1007/s00334-013-0401-7
- Galka M., Sznel M. Late Glacial and Early Holocene development of lakes in northeastern Poland in view of plant macrofossil analyses. *Quat. Int.* 2013;292:124–135. doi: 10.1016/j.quaint.2012.11.014
- Gazizova T. Yu., Sapelko T. V. Substantiation of the importance of macrophyte pollen for paleolimnological

reconstructions as exemplified with Lunkulansaari island lakes (the northeast of Lake Ladoga). *Biosfera = Biosphere*. 2020;12(4):231–241. doi: 10.24855/biosfera.v12i4.566 (In Russ.)

Gilyarov M. S. (ed.). Methods of soil and zoological research. Collected papers. Moscow: Nauka; 1975. 279 p.

Gladkova A. N., Grichuk V. P., Zaklinskaya E. D. et al. (comp.); Krishtofovich A. N., Pokrovskaya I. M. (eds.). Pollen analysis. Moscow: Gos. izd-vo geol. lit-ry; 1950. 572 p. (In Russ.)

Grichuk V. P., Zaklinskaya E. D. Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography. Moscow: Geografiz; 1948. 224 p. (In Russ.)

Grimm E. C. Tilia and Tilia-Graph PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, working group on data-handling methods. *Newsletter*. 1999;4:5–7.

Grimm E. C. TGV 2.0.2 (Software). Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center; 2004.

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron*. 2001;4(1):9.

Kabailene M. V. Formation of pollen spectra and methods of paleovegetation restoration. Vilnius: Mintis; 1969. 148 p. (In Russ.)

Karyakin I. V., Lapshin R. D., Shestakova A. A. ArcView GIS for ecologists. *Instructional and methodological manual*. N. Novgorod; 2009. 543 p. (In Russ.)

Katanskaya V. M. Higher aquatic vegetation. *Metodicheskie aspekty limnologicheskogo monitoringa = Methodological aspects of limnological monitoring*. Leningrad: Nauka; 1988. P. 102–113. (In Russ.)

Konograi V. A. Features of overgrowth of the Kremenchug reservoir. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2014;2:54–60. (In Russ.)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Palynological terminology of angiosperms. Leningrad: Nauka; 1967. 86 p. (In Russ.)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pollen and spores of plants of the flora in the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1972. Vol. 1. 171 p. (In Russ.)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pollen of dicotyledonous plants in the European part of the USSR. *Lamiaceae – Zygophyllaceae*. Leningrad: Nauka; 1978. 184 p. (In Russ.)

Nosova M. B., Severova E. E., Volkova O. A. Long-term studies of modern palynological spectra in the middle zone of the European part of Russia. *Byul. Mosk. o-va ispytatelei prirody. Otd. biol. = Bull. of Moscow Naturalists Society. Biology Dep*. 2015;120(6):42–50. (In Russ.)

Novenko E. Yu., Mazei N. G., Zernitskaya V. P. Recent spore-pollen spectra of protected areas of the European part of Russia as a key to the interpretation of the paleoecological studies results. *Nature Conservation Research*. 2017;2(2):55–65. doi: 10.24189/ncr.2017.012 (In Russ.)

Novenko E. Yu., Nosova M. B., Krasnoruckaya K. V. Features of surface spore-pollen spectra of the southern taiga of the East European Plain. *Izvestiya Tul'skogo gos. un-ta. = Proceed. TulSU*. 2011;2:345–354. (In Russ.)

Nurminen L. Macrophyte species composition reflecting water quality changes in adjacent water bodies of Lake Hiidenvesi, SW Finland. *Ann. Bot. Fenn*. 2003;40:199–208.

Papchenkov V. G. Vegetation cover of waterbodies and streams of the Middle Volga basin. Yaroslavl'; 2001. 213 p. (In Russ.)

Pesenko Yu. A. Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies. Moscow: Nauka; 1982. 287 p. (In Russ.)

Sapelko T. V., Terekhov A. V., Amantov A. V. Ladoga transgression: reconstruction of the final stage and subsequent decline in the northern part of the lake. *Regional'naya geologiya i metallogeniya = Regional Geology and Metallogeny*. 2018;75:23–34. (In Russ.)

Sladkov A. N. Introduction to spore-pollen analysis. Moscow: Nauka; 1967. 270 p. (In Russ.)

Stepanova A. B., Voyakina E. Yu., Zueva N. V. et al. The water system of the Valaam Archipelago. Small forest lakes. *Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoi transformatsii ekosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata = The current state and problems of anthropogenic transformation of the Lake Ladoga ecosystem in a changing climate*. St. Petersburg; 2021. P. 477–485. (In Russ.)

Toivonen H., Huttunen P. Aquatic macrophytes and ecological gradients in 57 small lakes in southern Finland. *Aquat. Bot*. 1995;51:197–22.

Vuorela I., Lempiäinen T., Saarnisto M. Land use pollen record from the Island of Valamo, Russian Karelia. *Ann. Bot. Fenn*. 2001;38:139–165.

Поступила в редакцию / received: 26.10.2022; принята к публикации / accepted: 14.09.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Газизова Татьяна Юрьевна

младший научный сотрудник

e-mail: tssml@bk.ru

Русанов Александр Геннадьевич

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: a.rusanov@yahoo.com

Сапелко Татьяна Валентиновна

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник

e-mail: tsapelko@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Gazizova, Tatyana

Junior Researcher

Rusanov, Alexander

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Sapelko, Tatyana

Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher