

А.Б. Степанова, Г.Ф. Шарафутдинова, Е.Ю. Воякина

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ОЗЕР
о. ВАЛААМ**

A.B. Stepanova, G.F. Sharafutdinova, E.Ju. Voyakina

**HYDROCHEMICAL FEATURES OF SMALL LAKES
OF THE ISLAND OF VALAAM**

В работе представлены диапазоны значений основных гидрохимических и гидрофизических параметров 10 озер Валаамского архипелага. Особое внимание было уделено вертикальной изменчивости значений выбранных показателей. Проведен сравнительный анализ озер о. Валаам и материковой Карелии по ряду гидрохимических параметров.

Ключевые слова: малые островные озера, гидрохимические и гидрофизические параметры, классификация малых озер Карелии.

The values ranges of the basic hydrochemical and hydrophysical parameters of 10 lakes on the Valaam archipelago are presented in this work. The special attention has been paid to vertical variability of values of the chosen indexes. The comparative analysis of the lakes at Valaam Island and in the mainland Karelia by several hydrochemical parameters was conducted located on the island of Valaam and the republic of Karelia, by using a number of hydrochemical parameters, is carried out.

Key words: small insular lakes, hydrochemical and hydrophysical parameters, classification of small Karelian lakes.

Химический состав воды озер в значительной степени определяется характером водосбора, его геоморфологическим строением, интенсивностью водообмена и антропогенным воздействием. Важно отметить, что влияние качественных и количественных характеристик водосбора на скорость протекания процесса лимногенеза наиболее ощутимо именно в малых озерах. Для водоемов подобного типа показано существенное межгодовое варьирование большинства параметров, связанное в основном с изменением объема и состава стока, под действием метеорологических условий в конкретные годы.

Изучение озер, расположенных в пределах одного ландшафта, дает возможность уделить внимание изменчивости параметров в небольшом географическом масштабе. Анализ различий между микроландшафтами и ландшафтными фациями позволяет дать оценку взаимодействий в системе «озеро–водосбор» в более крупном масштабе.

Озерность Карелии достигает 12,5 % – это одно из наибольших значений, характерных для Северо-Запада России. В Карелии насчитывается около 61 тыс. озер, преимущественно – малых, из них около 1,3 тыс. озер площадью от 1 до 10 км².

На территории Валаамского архипелага, общей площадью 36 км², располагается 11 внутренних озер, десять из которых можно отнести к малым лесным (рис. 1). Самое крупное из них – оз. Лещевое – является проточным и связано

с Ладожским озером и с внутренним озером Сисьярви. Остальные озера имеют искусственные дренажные каналы и относятся к водоемам с переменным стоком, уровень воды в них превышает уровень Ладожского озера примерно на 3 м. Важно отметить, что исследованные островные озера не подвержены прямому антропогенному воздействию.

Ладожское озеро



Рис. 1. Карта-схема расположения малых озер. о. Валаам (Ладожское озеро).
Коневские озера – оз. Игуменское, оз. Черное, оз. Оссиёво

Остров Валаам представляет собой интрузию, прорывающую рифейские отложения [Амантов, 1993; Панова, 2001]. Габбро-диабаз является здесь главной разновидностью пород. От господствующих кислых пород Балтийского щита (гранитов, гранитогнейсов) габбро-диабазы отличаются низким содержанием кремнезема (около 52 %), значительным содержанием оксидов Ca, Mg, P, Ti и высоким содержанием оксидов Fe (Fe_2O_3 составляет 13,97 % на прокаленную навеску) [Матинян, 1999; Фролова, 1994].

Большая часть территории архипелага (80 %) покрыта лесами, преобладающие породы – ель и сосна, было выделено более 25 типов леса и 14 типов почв [Кучко, 1983]. Рельеф острова относится к тектоническому сильно расчле-

ненному типу и представляет собой чередование возвышенностей и депрессий, в которых и расположены котловины озер. вследствие чего было отмечено большое разнообразие микроландшафтов и выделено около 400 типов ландшафтных фаций.

Описание элементов гидрохимического режима ранее приведены авторами в работах по планктону и бентосу [в том числе, Воякина, 2006, 2006а, 2006б, 2007; Куличенко, 2005; Степанова, 1998] и оптическим свойствам воды в озерах Валаамского архипелага [Степанова, 2008; Шарафутдинова, 2007]. В данной работе обобщены все имеющиеся данные по основным гидрохимическим и гидрофизическим параметрам.

Основной целью работы был сравнительный анализ малых озер о. Валаам с озерами материковой Карелии по гидрохимическим и гидрофизическим параметрам. В рамках этой работы решались следующие задачи: 1) провести исследования основных лимнологических параметров в десяти озерах Валаамского архипелага; 2) сопоставить озера о. Валаам между собой по комплексу исследованных параметров; 3) дать оценку лимнологических особенностей исследованных водоемов с использованием гидрохимической классификации озер Карелии.

Материалы и методы

В исследованных озерах пробы для определения базовых лимнологических показателей отбирались послонно, на каждой станции через 0,5–1,0 м, в период с мая по сентябрь 2002–2008 гг. ежемесячно. Станции отбора проб располагались в точках с максимальной глубиной в водоемах. В регулярном режиме отбирались пробы на содержание органического вещества (перманганатная окисляемость), кислорода, углекислого газа. Камеральная обработка на гидрохимические параметры осуществлялась по стандартным методикам [Алекин, 1973]. Измерения электропроводности проводились с использованием кондуктометра СС-401 (ELMETRON). Для определения цветности использовались данные по оптической плотности воды, отобранные в период с 2006 по 2008 г. В работу также были включены данные по первичной продукции за период с 2003 по 2007 г. [Воякина, 2007]. Данные о содержании биогенных элементов представлены за период 1998–2001, 2008 гг.

Результаты и обсуждение

Малые озера о. Валаам: элементы гидрохимического режима

Большинство из исследованных озер несущественно различаются по абсолютным значениям площади зеркала, средней и максимальной глубинам, исключением являются озера Игуменское, Черное и Лещевое (табл. 1). Даже незначительные различия морфометрических показателей приводят к существенным различиям в температурном режиме. Это хорошо прослеживается с помощью показателя Δt_{VI-VII} , который рассчитывается как разность температур в поверхностном и придонном горизонтах в каждой точке отбора проб в период максимального прогрева воды с июня по июль.

Диапазоны основных лимнологических параметров озер о. Валаам, 1997–2008 гг.

Название озера	F, га	h _{max} , м	F _{вод.} , км ²	Δt _{VI-VII} , °С*	SD, м	pH _{общ}	Цветность, °Pt-Co		Fe, мг/л		ПО, мгО/л	
							пов	дно	пов	дно	пов	дно
Лешевое	23,8	6,5	2,1	5,5-7,8	0,8-1,7	6,3-8,5	40-96	42-720	0,04-2,08	0,16-8,70	16,0-47,6	16,2-49,2
Игуменское	2,05	8	0,3	15,0-21,0	1,0-2,8	6,1-7,7	45-90	110-600	0,07-0,78	0,87-6,96	11,8-28,8	16,6-47,3
Черное	0,8	8,8	0,1	14,5-21,6	1,0-2,6	5,6-7,4	40-106	180-900	0,04-1,04	0,46-12,51	8,0-34,3	21,0-60,5
Оссево	0,3	2,5	0,1	5,6-13,3	0,8-1,3	5,6-7,3	50-160	60-220	0,04-1,60	0,28-5,12	7,0-30,8	11,9-35,3
Никоновское	1,1	4	0,2	12,3-19,2	0,2-1,2	5,8-7,6	56-260	40-360	0,09-3,20	0,97-9,60	20,1-52,1	23,8-60,0
Крестовое	1,41	3,1	0,1	6,5-12,9	0,8-1,7	6,1-8,7	70-120	80-340	0,05-1,57	0,05-5,44	16,5-53,5	18,2-55,8
Германовское	1,01	3,6	0,5	10,0-19,1	0,4-1,4	4,0-5,9	180-296	200-400	0,06-1,56	0,31-1,92	17,4-50,2	19,8-60,2
Симняховское	1,9	2,1	0,4	5,3-13,9	0,3-1,2	5,7-6,7	70-172	78-180	0,21-1,12	0,17-1,84	24,3-45,4	23,4-48,0
Антоньевское	2,76	3,5	0,8	7,1-12,0	1,0-1,7	5,7-7,5	72-180	100-252	0,14-0,56	0,30-1,84	14,6-58,2	15,5-68,6
Витальевское	0,51	1,9	0,5	3,2-11,0	0,4-1,1	6,2-7,4	120-252	124-360	0,59-4,00	0,88-4,88	13,8-44,0	13,8-50,1
Общее	0,3-23,8	1,9-8,8	0,1-2,1	3,2-21,6	0,2-2,8	4,0-8,7	40-296	40-900	0,04-4,00	0,05-12,51	7,0-58,2	11,9-68,6

Примечание. * Δt_{VI-VII} – разность температур поверхностных и придонных горизонтов на каждой точке отбора проб в период максимального прогрева воды (июнь-июль).

Озера с наибольшей глубиной – Игуменское и Черное – характеризуются выраженной термической стратификацией в течение всего периода открытой воды, что связано не только с формой котловины и отсутствием ветрового перемешивания, но также с составом и содержанием органических и неорганических веществ в воде. В этих водоемах в период с июня по сентябрь придонная температура остается практически постоянной (от 4,0 до 4,2 °С), объем гипolimниона в них не менее 30 % от общего объема водной массы.

В большинстве остальных водоемов выраженная термическая стратификация формируется в основном с середины июня по середину августа. Из них наибольшее значение Δt_{VI-VII} характерно для озер Германовское и Никоновское. В других водоемах значения этого показателя изменяются в диапазоне от 3,2 до 13,9 °С. Наибольшее по площади, а также достаточно глубокое (6,5 м) Лещевое озеро характеризуется наименьшими значениями этого показателя.

Как видно из табл. 1, для группы исследованных озер выявлены широкие диапазоны для целого ряда гидрохимических параметров: рН (4,0–8,7), перманганатная окисляемость (7,0–68,6 мгО/л), цветность (40–900° Pt-Co), содержание углекислого газа (0,9–228,0 мг/л), общего железа (0,04–12,51 мг/л) и электропроводности (26,0–328,0 мСм/см). В целом для озер характерна относительно высокая электропроводность, около 70 % значений изменяются в пределах от 26,0 до 56,2 мСм/см ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

На основе имеющихся данных установлены широкие диапазоны значений биогенных элементов. Наибольший разброс экстремальных значений за весь период наблюдения был выявлен для аммонийного азота и минерального фосфора – от 0,50 до 4,78 мг/л и от 0 до 0,44 мг/л соответственно. Значения фосфатов в поверхностных горизонтах варьировали от 0 до 0,07 мг/л, в придонных горизонтах – от 0,01 до 0,44 мг/л. Значения аммонийного азота изменялись в пределах 0,50–2,12 и 0,55–4,78 мг/л соответственно для поверхностных и придонных горизонтов озер. Широкие диапазоны значений исследованных параметров обусловлены как вертикальной неоднородностью, так и межгодовой изменчивостью. Последняя в основном связана различными метеорологическими условиями в конкретные годы исследований.

Для оз. Игуменское показаны наибольшие вертикальные различия значений гидрохимических и гидрофизических параметров. Вертикальные распределения стандартизированных значений параметров – рН, цветность (Pt-Co), содержание органического вещества (ПО), общего железа и содержание углекислого газа (CO_2) – представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, наименьшие вертикальные различия характерны для активной реакции среды и содержания органического вещества (в 1,2 и 1,4 раза соответственно); наибольшие вертикальные различия отмечены для содержания углекислого газа – в 48 раз; различия по содержанию общего железа и значений цветности – в 14 и в 6 раз соответственно. Скорее всего, существенные вертикальные различия значений параметров связаны с накоплением различных ве-

ществ и газов в придонных горизонтах озера вследствие выраженной термической стратификации. По классификации И.С. Захаренкова оз. Игуменское можно отнести к «термически весьма глубокому» типу [Захаренков, 1964; Абросов, 1971]. Значительный по объему гипolimнион (средняя температура воды – 4 °С) формируется вследствие специфической формы котловины (близкая к конусу) и отсутствия ветрового перемешивания. Подобная вертикальная неоднородность по ряду исследованных параметров была отмечена и для оз. Черное.

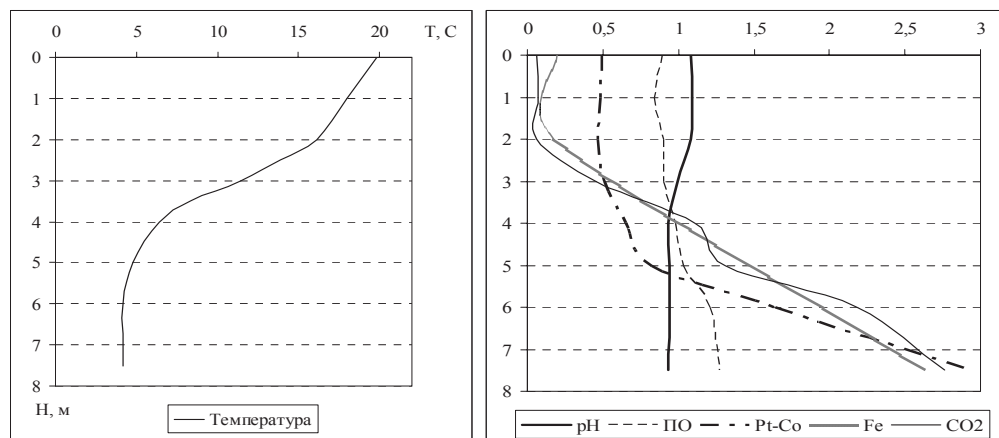


Рис. 2. Вертикальное распределение значений параметров, оз. Игуменское, август 2008 г. Значения параметров на правом графике стандартизированы ($X_{ст} = X_i / X_{cp}$) [Вайновский, 1992]

Два вышеупомянутых озера сильно отличаются от остальных исследованных озера. Для них также характерно существенное накопление биогенных элементов. Например, значения аммонийного азота в придонных горизонтах оз. Черное достигали 4,78 мг/л.

Для озер о. Валаам была составлена таблица, в которой приводятся отношения значений параметров в придонных и поверхностных горизонтах. Отметим группу озер, водная толща каждого из которых достаточно однородна по значениям выбранных параметров (табл. 2), – это оз. Германовское, оз. Симняховское и оз. Витальевское. Два последних озера являются наиболее мелководными, прогрев воды в них происходит быстро и равномерно. В оз. Германовское (средняя глубина 3,5 м), несмотря на наличие выраженной термической стратификации, существенных различий между поверхностными и придонными горизонтами также не наблюдалось. Вероятно, это связано с положением озера в центре массива верхового болота. Сфагнум, доминирующий в этом лесном сообществе, препятствует поступлению биогенных элементов из основных пород [Rask, 1985]. Заболоченная территория в данном случае служит своеобраз-

ным буфером, не допуская чрезмерных поступлений различных веществ с водосбора и, как следствие, резких изменений значений параметров в столбе воды.

Таблица 2

Отношение значений в придонных и поверхностных горизонтах для ряда исследованных параметров 10 озер о. Валаам, 2006–2008 гг.

Название озера	pH	ПО	Цветность	Fe	CO ₂
Лещевое	1	1	2	2	7
Игуменское	1	2	4	11	16
Черное	1	2	5	11	11
Оссиёво	1	1	1	4	4
Никоновское	1	1	1	3	6
Крестовое	1	1	2	2	5
Антоньевское	1	1	1	2	4
Германовское	1	1	1	2	2
Симняховское	1	1	1	2	3
Витальевское	1	1	1	1	3

Примечание. Серым цветом отмечены ячейки, где превышение значений больше чем в 3 раза.

Отметим, что различия значений параметров, зафиксированных в придонных и поверхностных горизонтах озер Игуменское и Черное, иногда достигают несколько порядков. Как уже отмечалось выше, это связано с относительно большой глубиной и устойчивой температурной стратификацией в озерах.

В остальных озерах – Лещевое, Оссиёво, Крестовое, Никоновское и Антоньевское – существенные различия были зафиксированы лишь для содержания углекислого газа (в 4–7 раз), значения которого в придонных горизонтах достигали 115 мг/л.

Сравнение с озерами материковой Карелии

Химический состав поверхностных вод значительной части Карелии формируется в зоне залегания коренных пород Балтийского кристаллического щита, хорошо промытых четвертичных отложений и в условиях высокой заболоченности. Поэтому воды озер, как правило, маломинерализованные, высокоцветные, с высоким содержанием железа, невысоким – фосфора и минеральных форм азота.

Для сравнения малых озер выбрана гидрохимическая классификация на основе данных по химическому составу воды более чем 200 озер Карелии [Лозовик, 1991]. В эту классификацию были включены следующие показатели: цветность воды, перманганатная (ПО) и бихроматная (БО) окисляемость, содержание железа, pH и минерализация воды ($\Sigma_{и}$). Малые озера Карелии по совокупности химических параметров были отнесены к десяти различным типам (табл. 3).

В основу типизации были положены значения параметров в поверхностных горизонтах озер архипелага, усредненные за период с 2003 по 2008 г.

Таблица 3

Гидрохимические типы малых озер Карелии [Лозовик, 1991]

№ типа	Типы озер	pH	Цветность, град	ПО, мгО/л	БО, мгО/л	Fe, мг/л	Кол-во исслед. озер	Озера Валаамского архипелага
1	Ацидные ультраолигоумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} < 10$ мг/л	<5,5	< 10	< 3	< 4	< 0,1	5	
2	Ацидные полиумозные мезополижелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 10-15$ мг/л	<5,5	> 140	> 25	> 40	> 0,7	27+1	Германовское
3	Слабокислые мезоумозные мезожезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 10-20$ мг/л	5,5-6,5	35-80	8-15	15-30	0,1-0,4	48	
4	Слабокислые мезополиумозные железистые с величиной $\sum_{\text{и}} 10-20$ мг/л	5,5-6,5	80-160	15-35	30-50	> 0,3	27+1	Симняховское
5	Нейтральные олигоумозные олигожелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 15-25$ мг/л	6,5-7,5	20-35	4-8	7-15	0,1-0,3	20	
6	Нейтральные мезоумозные мезожезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 15-25$ мг/л	6,5-7,5	35-80	8-15	15-30	0,3-0,7	27	
6а	Нейтральные мезоумозные мезожезистые с повышенным содержанием ОВ	6,5-7,5	35-80	15-30	30-50	0,3-0,7	2	Игуменское, Черное
7	Нейтральные мезополиумозные мезополижелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 15-25$ мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	> 0,7	12+3	Лещевое, Оссиново, Крестовое
7а	Нейтральные мезополиумозные мезожезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 15-25$ мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	0,3-0,7	1	Ангольевское
7б	Нейтральные мезополиумозные полижезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 15-25$ мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	> 1,5	1	Витальевское
8	Нейтральные олигоумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 25-40$ мг/л	6,5-7,5	20-35	4-8	7-15	< 0,1	15	
9	Нейтральные мезоумозные олигожелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} 25-40$ мг/л	6,5-7,5	35-80	8-15	15-30	0,1-0,3	18	
10	Слабощелочные ультраолигоумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_{\text{и}} > 40$ мг/л	>7,5	< 20	< 4	< 7	< 0,1	9	
11	Нейтральные полиумозные мезополижелезистые с повышенным содержанием ОВ	6,5-7,5	>160	> 30	> 50	> 0,7	1	Никоновское

Примечание. Серым цветом отмечены новые типы, выделенные для озер о. Валаам. В основу положены средние значения параметров в поверхностных горизонтах озер 2003–2008 гг. Серым цветом отмечены новые типы, выделенные для о. Валаам. В основу положены средние значения параметров в поверхностных горизонтах озер, 2003–2008 гг.

В результате только 5 озер о. Валаам оказались типичными для региона Карелия и были отнесены к 3 различным лимнологическим типам предложенной классификации. Для других 5 озер были предложены 3 новых подтипа и 1 новый тип.

Для озер Игуменское и Черное новый подтип (6а) был выделен благодаря повышенному содержанию органического вещества в воде. Невысокая цветность, относительно высокая прозрачность, а также повышенное содержание биогенных элементов создают благоприятные условия для образования органического вещества в этих озерах. Однако значительный вклад в общее содержание вносит именно аллохтонное органическое вещество.

Для оз. Антоньевское из-за низкого содержания железа (0,4 мг/л) был выделен новый мезожелезистый подтип (7а).

Озеро Витальевское, наоборот, отличалось большими значениями содержания оксидов железа в воде (до 4,0 мг/л), что связано с его местоположением. Для этого озера был предложен новый полижелезистый подтип (7б).

Для оз. Никоновское был предложен новый 11-й тип. Этот водоем, частью водосбора которого являются низовые болота и сельскохозяйственные угодья, отличается повышенным содержанием органического вещества и высокими значениями цветности.

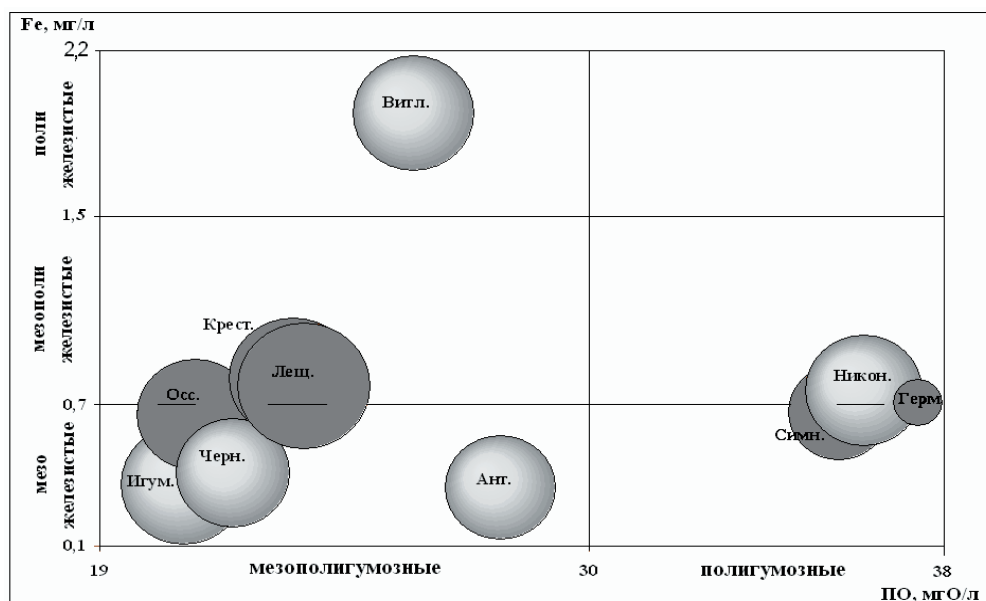
Из табл. 3 видно, что большинство (около 50 %) исследованных озер Карелии было отнесено ко второму, третьему и четвертому гидрохимическим типам, в которые попали лишь два (озера Германовское и Симняховское) исследованных на Валааме водоема.

Специфические особенности малых озер о. Валаам

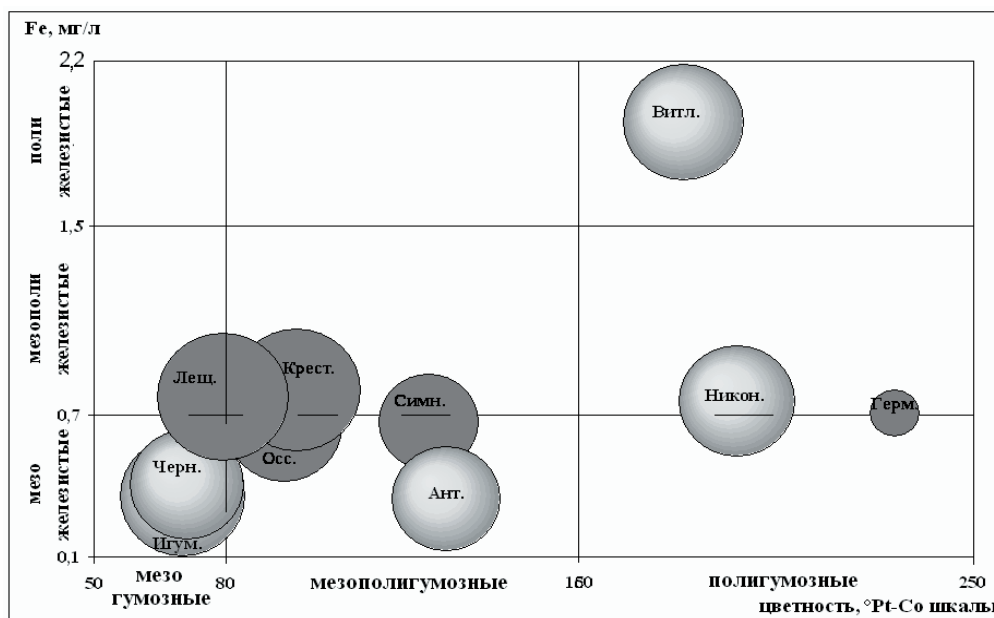
Кроме существенных отличий от водоемов Карелии, отметим «несхожесть» озер Валаама между собой – десять исследованных озер были отнесены к 5 различным типам.

Интересно было сопоставить разделение озер по гидрохимическому режиму с их распределением по трофическому статусу. На Валаамском архипелаге, как и на территории Фенноскандии, преобладают мезофотобатные озера [Китаев, 1984]. В этих озерах фотическая зона занимает большую часть водной массы. В озерах Черное и Никоновское в связи с их большими глубинами формируется и афотическая зона. Единственный водоем, который был отнесен к мезополифотобатным, – растающее оз. Витальевское.

Как показали исследования, для всех озер о. Валаам большую роль в биотических процессах играет аллохтонное органическое вещество ($A/R < 1$). Для исследованных озер были рассчитаны индексы трофического состояния (ИТС) по средним за сезон значениям $A_{\text{опт}}$ [Бульон, 1987, 1993]. Большинство озер относятся к мезотрофным водоемам с чертами эвтрофии (ИТС 61 – 68). К мезотрофным были отнесены озера с заболоченными водосборами – Германовское, Антоньевское, Симняховское [Воякина, 2007].



a



б

Рис. 3. Ориентация 10 озер Валаамского архипелага в пространстве трех признаков, данные за июнь–сентябрь 2006–2008 гг.

Темно-серые шары – озера типичные для РК; светло-серые шары – озера нетипичные для РК

На рис. 3, *а* представлена ординация десяти озер в пространстве трех параметров: содержание железа, содержание органического вещества (методом перманганатной окисляемости) и активная реакция среды (размер шара). Большинство исследованных озер (7 водоемов) относятся к нейтральному мезополигумозному типу, отличаясь лишь по характеру содержания железа в воде: мезожелезистые, мезополижелезистые и полижелезистые водоемы. Другие 3 водоема относятся к полигумозному мезожелезистому типу. Однако эта группа озер неоднородна по значениям pH, в нее входят: кислотный (Германовское), слабокислый (Симняховское) и нейтральный (Никоновское) водоемы.

Наибольшее значение содержания органического вещества в поверхностных горизонтах было отмечено в оз. Германовское, которое отличается достаточно большим значением удельного водосбора (70,0), а наименьшее – в оз. Игуменское, где значение удельного водосбора одно из наименьших (14,6) среди озер исследованной группы.

Высокое содержание оксидов железа в оз. Витальевское связано с его местоположением. В северо-восточной части острова главной разновидностью пород является ферро-габбро-диабаз. Эта порода отличается более высоким содержанием оксидов железа и чрезвычайно легко подвергается выветриванию и разрушению.

Для сопоставления на рис. 3, *б* приведено подобное распределение озер, но для определения гумозности вместо перманганатной окисляемости была выбрана цветность воды. Положение некоторых озер существенно изменилось. Отметим, что по значениям цветности для исследованных озер был обозначен еще один тип – мезогумозный, куда были отнесены: оз. Черное, оз. Игуменское и оз. Лещевое. В этом признаковом пространстве оз. Витальевское было отнесено к полигумозным водоемам, а оз. Симняховское – к мезополигумозным.

Различие двух ординаций озер (рис. 3) не случайно. Взаимосвязь между содержанием органического вещества и оптическими свойствами воды очевидна, однако она сложна и неоднозначна. Это объясняется тем, что напрямую оптические свойства крупных органических молекул, которые составляют основную массу органического вещества в озерах гумидной зоны, не связаны с их молекулярной массой, как подтверждается целым рядом исследований [например, Levis, 1997]. Выделение оптических свойств воды в самостоятельный параметр, возможно, усложнит процедуру классификации водоемов, но, очевидно, даст возможность для всесторонней оценки гидрохимического режима озер. Характеристика оптических свойств воды является важным лимнологическим параметром, который позволяет лучше изучить источник поступления (природу) аллохтонного органического вещества и особенности его трансформации в воде озер.

Заключение

В результате типизации 10 озер о. Валаам были отнесены к 5 различным лимнологическим типам. Только пять из исследованных водоемов оказались типичными для региона Карелия. В ходе сопоставления было установлено, что озера о. Валаам отличаются повышенным содержанием органического вещества, железа и минеральных форм фосфора, а также высокой минерализацией.

Для исследованных внутренних озер Валаамского архипелага были выявлены широкие диапазоны рассмотренных лимнологических параметров. Это связано с существенной вертикальной изменчивостью значений, а также обусловлено межгодовой вариабельностью параметров. Для рассмотренных водоемов характерно разнообразие сочетаний значений параметров.

В отсутствии прямого антропогенного воздействия нетипично высокие значения ряда параметров можно рассматривать как фоновые. Это связано с магматическим происхождением подстилающих пород и спецификой формирующихся на них железисто-метаморфических почв, а также с развитием склоновых процессов в условиях сильно расчлененного рельефа о. Валаам. За счет рыхлой структуры почвы повышаются ее аккумулятивные свойства и происходит существенное накопление органических и минеральных соединений. В первую очередь это относится к оксидам железа и фосфора, которые легко переходят в почвенный раствор и со стоком поступают в водоемы [Матинян, 1999; Фролова, 1994].

Подробный анализ показал, что озера Игуменское и Черное существенно отличаются как от озер Карелии, так и от других озер о. Валаам. Описанный редкий тип характеризует выраженная термическая стратификация, следствием которой является кислородная дихотомия, накопление органических и неорганических соединений в гипolimнионе, в результате чего формируются существенные вертикальные градиенты параметров; различия значений достигают нескольких порядков.

По результатам нашего исследования, большинство озер Валаамского архипелага можно отнести к нейтральному мезополигумозному или мезополижелезистому типам. По показателям трофности основная часть исследованных озер относится к мезотрофным с чертами эвтрофии и мезотрофным водоемам.

Литература

1. *Абросов В.Н.* Термическая классификация смешанных озер умеренных широт // *Природа и хозяйственное использование озер.* – Псков, 1971, с. 3–5
2. *Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. – Л., 1973. – 210 с.
3. *Амантов А.В.* Этапы геологического развития Ладожского озера // *Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера.* РГО РАН. – СПб., 1993, с. 5–15.

4. Бульон В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л., 1987, с. 45–51.
5. Бульон В.В. Внеклеточная продукция фитопланктона и ее потребление гетеротрофными организмами // Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб., 1993, с. 41–46.
6. Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации (многомерный анализ). – СПб., 1992. – 96 с.
7. Воякина Е.Ю. Структура фитопланктона в полигумозных озерах о. Валаам с различной степенью кислотности (1997–2005 гг.). – В сб.: Сб. науч. работ молодых специалистов и аспирантов межрегиональной конференции «Актуальные проблемы экологической безопасности и устойчивого развития регионов». – СПб., 2006, с. 50–59.
8. Воякина Е.Ю. Вертикальная структура фитопланктона в двух малых лесных озерах Валаамского архипелага. – В сб.: Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. – М.: КМК, 2006а, с. 115–125.
9. Воякина Е.Ю. Фитопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – СПб., 2007. – 22 с.
10. Воякина Е.Ю., Степанова А.Б. Структура сообществ фито- и зоопланктона в полигумозных озерах различной степени кислотности, 1997–2005 гг. (о. Валаам). – Тезисы межд. конф. «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». – СПб., 2006б, с. 33.
11. Захаренков И.С. О лимнологической классификации озер Белоруссии. – Биологические основы рыбного хозяйства внутренних вод Прибалтики. – Минск, 1964, с. 175–176.
12. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М., 1984. – 207 с.
13. Куличенко А.Ю. Сообщество макрозообентоса малых озер в естественных условиях (Ладожское озеро, о. Валаам). – Мат. научной конференции «Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей. 5–7 декабря 2005. – СПб., 2005, с. 361–364.
14. Кучко А.А. Леса Валаама и их значение. – Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. – Петрозаводск, 1983, с. 5–33.
15. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии / Лозовик П.А., Сабылина А.В., Коваленко В.Н., Басов М.И., Харкевич Н.С. – Матер. Всесоюз. совещ. «Антропогенные изменения экосистем малых озер». – Л., 1991, с. 34–37.
16. Матиян Н.Н., Урусевская И.С. Почвы острова Валаам. – СПб., 1999, с. 1–31.
17. Панова Е.Г., Гавриленко ВВ. Геология и техногенез – факторы развития геохимического ландшафта о. Валаам // Историческая геология и эволюционная география. МК ГШВ. 2001, с. 64–74.
18. Степанова А.Б. Зоопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – СПб., 1998. – 19 с.
19. Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф. Оптическая плотность как важный параметр для мониторинга малых озер на водосборной площади Финского залива. – Сб. тезисов IX Междунар. экологического форума "День Балтийского моря". – СПб.: Диалог, 2008, с. 508–510.
20. Фролова Т.Ю., Урусевская И.С., Грачева Р.Г. Гумус естественных и окультуренных почв острова Валаам // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение, 1994, № 3.
21. Шарафутдинова Г.Ф. Оптические свойства воды малых озер о. Валаам. – Сб. докл. молодых ученых на сессии ученого совета, январь 2007. – СПб.: изд. РГТМУ, 2007, с. 55–58.
22. Levis A. Molot & Peter J. Dillon. Colour-mass balances and color-dissolved organic carbon relationship in lakes and streams in central Ontario // Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1997, vol. 54, p. 2789–2795.
23. Rask M., Arvola L., Salonen K. A note on the acidity in 54 small lakes in Evo forest area, southern Finland // Aqua Fennica, 1985, vol. 15, № 1, p. 41–46.