

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ УЧАСТКОВ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МАКРОЗООБЕНТОСА

© 2013 г. Н. М. Калинкина, Н. А. Белкина, Т. Н. Полякова, М. Т. Сярки

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

185030 Петрозаводск, просп. А. Невского, 50

E-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 24.03.2011 г.

Разработан амфиподно-олигохетный индекс для оценки состояния макрозообентоса глубоководных районов Онежского оз. По величине индекса участки дна Петрозаводской губы, находящиеся под влиянием коммунально-бытовых сточных вод, нефтебазы, рек в черте города, а также крупного притока Онежского оз. (р. Шуи), характеризуются высокой степенью трансформации сообщества зообентоса и наибольшим загрязнением. В центральной части Петрозаводской губы и на ее северном берегу сохраняется естественное соотношение основных групп зообентоса (амфипод и олигохет), но их численность увеличена в десятки раз по сравнению с фоновыми участками Онежского оз. Обнаружена достоверная связь между значениями амфиподно-олигохетного индекса и величиной окислительно-восстановительного потенциала верхнего слоя донных отложений.

Ключевые слова: биоиндикация, Онежское озеро, макрозообентос, амфиподно-олигохетный индекс, химический состав, донные отложения

DOI: 10.7868/S0321059613050040

Онежское оз. представляет собой второй по величине пресноводный водоем в Европе. До настоящего времени олиготрофный статус Онежского оз. и чистота его вод сохраняются на большей части акватории [11]. Однако северо-западные заливы, в том числе Петрозаводская губа, подвержены заметному антропогенному воздействию. На западном берегу залива расположен г. Петрозаводск с населением более 260 тыс. человек. В губу впадает один из самых крупных притоков Онежского оз. — р. Шуя, цветность воды которой достигает 160 град. (платиново-кобальтовой шкалы), содержание фосфора — 0.038 мг Р/л [14]. Поступление речных, промышленных и коммунально-бытовых сточных вод приводит к накоплению загрязняющих веществ (ЗВ) на дне залива [5]. Поскольку Петрозаводская губа служит источником для водоснабжения г. Петрозаводска, весьма актуальной является оценка ее состояния.

Важнейшие индикаторы трансформации водоемов — организмы макрозообентоса, поскольку они отражают эффекты накопления ЗВ в экосистеме [4]. Глубоководные сообщества зообентоса Петрозаводской губы, как и всего Онежского оз.,

в основном представлены реликтовыми ракообразными (*Monoporeia affinis* Lindstr., *Pallasiola quadrispinosa* Sars, *Mysis relicta* Loven) и олигохетами. Хируномиды и двустворчатые моллюски составляют небольшую долю численности и биомассы всего бентоса [8, 13].

В связи с антропогенным воздействием на Онежское оз. (особенно на его глубоководные участки) требуются постоянные наблюдения и оценки состояния биоты. В мониторинговых исследованиях используются разнообразные биотические индексы, большинство из них разработано в основном для небольших озер и рек. К условиям Онежского оз. они малоприспособлены. Так, по отношению численности олигохет к общей численности бентоса [12] все Онежское оз. можно отнести к умеренно загрязненным водоемам.

Другой важный аспект исследований заключается в разработке экспрессных методов оценки состояния биоты. Для условий Онежского оз. необходимо определить индекс, учитывающий структуру бентоса, особенно — крупных таксономических рангов. В настоящей работе ситуация в Петрозаводской губе оценена на основе данных именно по крупным таксонам (*Amphipoda*, *Oligochaeta* и

Chironomidae), составляющим более 90% общей численности сообществ макрозообентоса.

Цель настоящих исследований заключалась в оценке состояния сообществ макрозообентоса глубоководных участков Петрозаводской губы Онежского оз. Для этого решались следующие задачи: разработка индекса на основе структурных показателей макрозообентоса, выполнение зонирования дна Петрозаводской губы по величине нового индекса, анализ пространственной динамики физико-химических показателей донных отложений (ДО) Петрозаводской губы и оценка их связи с гидробиологическими показателями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Петрозаводская губа Онежского оз. вдается в сушу на 19 км (рис. 1). Площадь водной поверхности составляет 125 км², средняя глубина – 18,2 м [9]. В центральной части глубины достигают 32 м. Петрозаводская губа характеризуется высокой проточностью, что связано с поступлением вод р. Шуи (среднегогодовой расход воды – 95 м³/с). В период открытой воды водообмен залива составляет всего 14–20 сут. В южной части губы располагаются крупная нефтебаза и городские очистные сооружения. Объем коммунально-бытовых сточных вод, поступающих в залив, составляет 49–52 млн м³/год, ливневого стока с территории города – 10 млн м³/год [14].

Пробы макрозообентоса (всего 107) отбирали в 2001–2007 гг. на 24 станциях, равномерно распределенных по акватории (рис. 1). Исследования проводили в летний период (июнь–август), в отдельные годы – и в сентябре. Пробы макрозообентоса отбирали на глубинах 6–32 м дночерпателем Экмана–Берджи (площадь захвата 225 см²) и обрабатывали по стандартным методикам [10]. Отбор проб илов (количество 95) на химический анализ проводился поршневой трубкой оригинальной конструкции [16]. В верхнем слое ДО (0–2 см) определяли окислительно-восстановительный потенциал (Eh), содержание нефтепродуктов, С, Mn, Fe. Анализы выполняли по методикам Е.В. Аринушкиной [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На дне Петрозаводской губы распределение макрозообентоса оказалось неравномерным (табл. 1). В центральном глубоководном районе (район 1) средняя численность бентоса была минимальной, в то время как биомасса – максимальной (табл. 1), что связано с доминированием реликто-

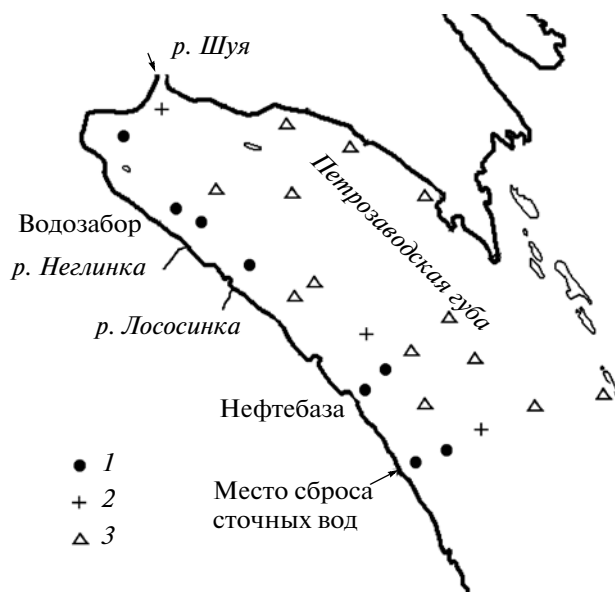


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб макрозообентоса в Петрозаводской губе Онежского оз. 1, 2 и 3 – станции, соответствующие классам проб 1, 2 и 3, выделенным по значениям амфиподно-олигохетного индекса.

вых ракообразных (табл. 2). По общим показателям развития и соотношению основных групп бентоса ближе всех к центральному району – станции отбора проб у северного берега (район 2), не испытывающего антропогенного воздействия.

В сравнении с центральным районом область водозабора (район 3) характеризуется близкими показателями численности, пониженной биомассой и резко сниженной долей амфипод. Однако здесь возрастает доля хирономид, видовой состав которых указывает на накопление взвесей, богатых органическим веществом (ОВ). Наблюдаемые изменения связаны с влиянием вод р. Шуи, которые распределяются вблизи западного берега залива.

Городское побережье Петрозаводской губы (районы 4, 5) характеризуется наибольшими показателями численности олигохет, в то время как численность амфипод здесь заметно ниже (табл. 1, 2). Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в зоне расположения нефтебазы (район 6) и поступления коммунально-бытовых сточных вод г. Петрозаводска (район 7).

По сравнению с наиболее чистым центральным районом Онежского оз., еще сохраняющим свой олиготрофный статус, вся Петрозаводская губа характеризуется в десятки раз более высокими показателями развития бентоса. Так, в Центральном Онеге (глубины 37–85 м) средние пока-

Таблица 1. Численность, тыс. экз/м² (числитель), и биомасса, г/м² (знаменатель), основных групп макрозообентоса в глубоководных районах Петрозаводской губы в 2001–2007 гг. (здесь и в табл. 2: А – Amphipoda; О – Oligochaeta; С – Chironomidae; районы исследования: 1 – центр залива, 2 – северо-западный берег, 3 – водозабор, 4 – место впадения р. Шуи, 5 – место впадения р. Лососинки, 6 – нефтебаза, 7 – место поступления коммунальных сточных вод; здесь и в табл. 5: М – среднее значение, min – минимальное, max – максимальное)

Численность/биомасса		Район исследования (верхняя строка); глубина (нижняя строка), м						
		1	2	3	4	5	6	7
		25–32	18–21	14–18	18–19	16–21	6–21	6–14
Общие	М	4.78/13.6	5.57/9.4	3.51/3.4	8.74/8.1	6.19/8.2	10.20/6.3	18.39/6.2
	min	1.64/4.9	2.04/2.3	0.36/1.11	4.47/4.7	3.67/2.6	0.38/0.3	1.69/0.4
	max	8.67/33.5	14.1/17.0	9.80/6.8	17.4/12.6	10.2/15.1	43.04/17.5	69.49/16.5
А	М	2.48/10.4	2.90/7.7	0.45/0.5	0.24/1.1	0.08/0.5	0.10/0.6	0
	min	0.49/2.3	0.42/0.7	0	0.09/0.01	0.02/0.01	0	–
	max	7.09/31.8	11.09/14.3	3.67/3.2	0.60/2.9	0.18/1.6	0.53/3.8	–
О	М	2.02/3.2	2.03/1.3	1.13/0.7	5.95/3.6	4.69/6.4	9.37/4.9	17.75/5.5
	min	0.44/1.2	1.16/0.5	0.13/0.1	1.96/1.6	1.58/1.3	0.20/0.2	1.47/0.3
	max	4.49/8.9	3.00/2.3	2.49/1.9	14.11/6.5	8.84/13.6	41.09/15.8	68.71/16.4
С	М	0.27/0.2	0.62/0.4	1.73/2.1	1.93/2.8	1.24/1.1	0.36/0.3	0.46/0.5
	min	0	0.33/0.2	0.22/0.8	1.04/1.7	0.71/0.6	0.02/0.01	0.04/0.01
	max	1.56/0.9	1.31/0.8	2.89/4.5	2.80/4.2	2.02/1.3	1.51/1.3	2.18/1.6

Таблица 2. Доли основных групп макрозообентоса, %, в общих численности и биомассе в глубоководных районах Петрозаводской губы в 2001–2007 гг.

Показатель	Группа	Район исследования						
		1	2	3	4	5	6	7
Численность	А	52	52	13	3	1	1	0
	О	42	36	32	68	76	92	97
	С	6	11	49	22	20	4	3
Биомасса	А	76	82	13	13	7	9	0
	О	23	14	21	45	78	77	90
	С	2	5	62	35	13	5	8

затели общей численности в 2001–2007 гг. составляли 0.93 тыс. экз/м², биомассы – 2.06 г/м². Доля амфипод в общей численности и биомассе бентоса чистых районов озера варьирует в пределах 47–52, олигохет – 33–46, хирономид – 7–15%. Таким образом, по показателям развития бентоса Петрозаводская губа относится к мезотрофным водоемам. Глубоководная часть Петрозаводской губы и северный берег еще сохраняют соотношение основных групп, близкое к естественному для озера, в то время как на большей части дна залива структура бентического сообщества существенно нарушена.

В целях зонирования дна Петрозаводской губы пробы макрозообентоса были классифицированы

методом главных компонент [6]. В предварительных исследованиях установлено, что показатели численности амфипод, олигохет и хирономид распределяются по логнормальному закону. По результатам преобразований (вычисления корня степени 0.5 и логарифмирования), распределение показателей достоверно не отличалось от нормального ($p < 0.05$), что позволило в дальнейшем применять к ним параметрические методы статистики.

На первом этапе при анализе данных методом главных компонент использовали три показателя: численности амфипод, олигохет и хирономид. Первые две компоненты выражают 75% общей изменчивости признаков. Весовые коэффициен-

ты показателей численности амфипод и олигохет, которые вошли в первую главную компоненту, составили 0.77 и +0.73 соответственно. Численность третьей группы – хирономид не связана с динамикой численности двух других групп (табл. 2). Этот показатель вошел с достоверным положительным коэффициентом (0.89) во вторую главную компоненту.

Обратная зависимость между показателями численности реликтовых ракообразных и олигохет связана с их разной устойчивостью к антропогенному воздействию. Реликтовые ракообразные наиболее чувствительны к температурным условиям и содержанию кислорода в среде обитания. Возможно, высокая чувствительность реликтовых рачков к загрязнению связана с их относительно недавним вселением в пресные водоемы. Показано, что мезолимнические и, особенно, неолимнические формы (к которым можно отнести реликтовых ракообразных) характеризуются меньшей приспособленностью к неблагоприятным факторам пресных вод и, как следствие, к действию ЗВ [7]. Олигохеты проявили противоположную амфиподам реакцию. Их численность в местах загрязнения ДО резко увеличивалась за счет интенсивного развития весьма устойчивых представителей этой группы – тубифицид (табл. 2).

Результаты анализа методом главных компонент представлены на рис. 2а. Пробы представляют собой единый массив, что связано с показателем численности хирономид, который не позволяет четко выделить относительно чистые и загрязненные участки водоема.

На следующем этапе был выполнен компонентный анализ с использованием лишь двух показателей: численности амфипод и численности олигохет. Первая главная компонента выражает основную долю (63%) общей изменчивости признаков. Оба показателя вошли в первую компоненту с достоверными коэффициентами, но с противоположными знаками: +0.79 и –0.79 соответственно. Вторая главная компонента выражает 37% общей дисперсии, в нее вошли два показателя с положительными недостоверными коэффициентами (0.61). Новое расположение данных по макрозообентосу в осях двух главных компонент представлено на рис. 2б. Все результаты разделились на две большие группы. Первая группа (в нижней части графика) представлена данными по наиболее загрязненным участкам Петрозаводской губы. В соответствующих пробах отсутствовали амфиподы, а средняя численность олигохет составила 11.31 тыс. экз/м². Вторая группа данных (в верхней части графика) представляет менее загрязненные

Таблица 3. Пороговые значения амфиподно-олигохетного индекса для классификации данных по зообентосу глубоководных зон Онежского оз. (А/О – амфиподно-олигохетный индекс)

Класс	Пороговые значения индекса	Характеристика зоны
1	$0 \leq A/O < 0.005$	Резкое изменение соотношения численности амфипод и олигохет (зона сильного антропогенного воздействия)
2	$0.005 < A/O < 0.08$	Заметное изменение соотношения численности амфипод и олигохет (зона заметного антропогенного воздействия)
3	$0.08 < A/O$	Природное соотношение численности амфипод и олигохет (отсутствие антропогенного воздействия)

участки, а также глубоководную зону и район северного берега. Во всех пробах из второй группы присутствовали амфиподы и олигохеты (средняя численность – соответственно 1.65 и 2.53 тыс. экз/м²).

Таким образом, анализ данных методом главных компонент показал, что наибольшая информативность для выделения зон на дне Петрозаводской губы имеется только по двум показателям – численности амфипод и численности олигохет, которые выражают противоположную реакцию на загрязнение, что позволило рассчитать новый индекс – амфиподно-олигохетный – соотношение численности реликтовых ракообразных и численности олигохет.

Для всех станций были рассчитаны значения нового индекса. Экспертным путем были найдены его пороговые значения для выделения зон на дне Петрозаводской губы (табл. 3). Точность классификации данных по пороговым значениям индекса оценивали с помощью дискриминантного анализа [15]. В качестве исходных признаков использовали численности амфипод и олигохет. Полученные уравнения дискриминации оказались достоверны ($p < 0.05$). С использованием дискриминантных функций была оценена точность классификации данных по пороговому значению амфиподно-олигохетного индекса, составляющему 94.6% (табл. 4).

Расположение трех групп станций отбора проб представлено на карте Петрозаводской губы (рис. 1). Данные первой группы (сильное антропогенное воздействие) относятся к районам, непосредственно примыкающим к местам поступления сточных вод г. Петрозаводска, нефтебазе, устьям

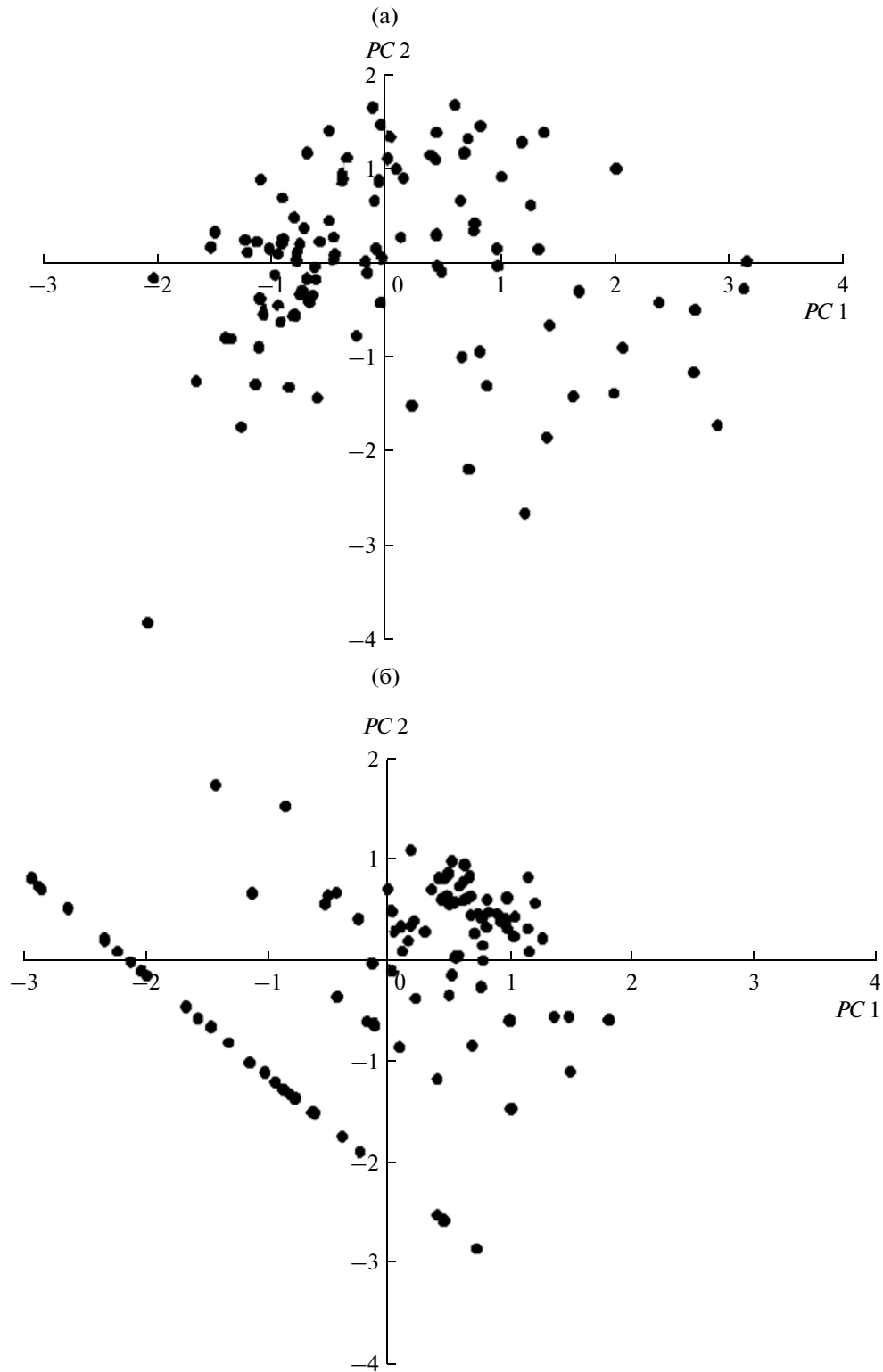


Рис. 2. Расположение данных по пробам макрозообентоса в осях первой (*PC1*) и второй (*PC2*) главных компонент. В качестве исходных использованы показатели численности амфипод, олигохет и хирономид (а), амфипод и олигохет (б).

рек Неглинки, Лососинки и Шуи. Станция водозабора питьевой воды по показателям макрозообентоса относится к первой зоне. Данные второй группы (заметное антропогенное воздействие) относятся ко второй зоне, прилегающей к первой. Данные третьей группы (отсутствие воздействия) соответствуют станциям, расположенным в глубоководном районе, а также около северного берега, где антропогенное воздействие отсутствует. Таким образом, по величине амфиподно-олигохетного индекса анализируемые пробы оказались ранжированы точно в соответствии со степенью близости к источникам антропогенного воздействия.

Представляет интерес оценка состояния ДО в трех зонах Петрозаводской губы по критериям ГОСТ [1, 12]. С этой целью были рассчитаны доли олигохет в общей численности для каждой пробы макрозообентоса. Оказалось, что в первой – наиболее загрязненной зоне доля составляла в среднем 91 (пределы – 53–99)%, во второй – 57 (18–97)%, в третьей, наиболее удаленной от источников загрязнения, – 45 (12–82)%. Согласно [1, 12], все три зоны можно классифицировать как “зоны антропогенного напряжения с элементами экологического регресса”, поскольку в подавляющем большинстве случаев значения относительной численности олигохет укладываются в диапазон 30–98%. Следовательно, оценка экологической ситуации по критериям ГОСТ не позволила выделить в Петрозаводской губе Онежского оз. зоны различной степени загрязненности ДО. Это объясняется тем, что на дне чистых глубоководных участков Онежского оз. широко распространены виды олигохет, свойственные олиготрофным водоемам (например, *Lamprodrilus isoporus* Svetlov). Их численность достигает высоких значений, что и приводит к ошибочной классификации этих зон как загрязненных.

Сходная ситуация наблюдается и на Ладожском оз. Так, индекс Гуднайта–Уитлея оказался в этом случае неприменимым, так как даже на самых незагрязненных глубоководных участках Ладожского оз. в ДО обитают олигохеты, характерные для олиготрофных водоемов [2].

Чтобы рассмотреть индикаторное значение амфиподно-олигохетного индекса, важно было сравнить химический состав ДО трех зон (табл. 5). Оказалось, что при переходе от наиболее загрязненных участков (зоны 1 и 2) к слабо измененным (зона 3) Eh в ДО закономерно нарастал. Пониженные значения Eh в наиболее загрязненных зонах связаны с накоплением здесь ОВ и последующим его разложением, на что расходуется кисло-

Таблица 4. Оценка качества классификации проб ДО из Петрозаводской губы Онежского оз. по частоте ошибочной дискриминации (строка – наблюдаемый, столбец – рассчитанный классы)

Рассчитанный класс	Степень корректной дискриминации, %	Наблюдаемый класс		
		1	2	3
1	96.4	27	1	0
2	83.3	1	15	2
3	96.9	0	2	63
Всего	94.6	28	18	65

Таблица 5. Некоторые показатели физико-химического состава ДО из различных районов Петрозаводской губы Онежского оз.

Показатель		Район исследования		
		1*	2*	3*
		Глубина, м		
		6–20	9–24	12–32
Eh, мВ	М	272	242	403
	min	89	35	20
	max	355	703	753
Содержание веществ, % от воздушно-сухой навески				
С	М	4.06	3.91	3.90
	min	0.10	2.55	0.21
	max	12.46	7.21	6.54
Нефтепродукты	М	0.110	0.040	0.02
	min	0.001	0.004	0
	max	0.583	0.175	0.121
Fe	М	3.31	3.62	4.58
	min	0.1	2.46	0.38
	max	4.6	5.00	10.32
Mn	М	0.25	0.29	0.76
	min	0.01	0.13	0.10
	max	0.40	0.60	1.74

* Зоны, выделенные по величине амфиподно-олигохетного индекса.

род из водной толщи, происходит снижение содержания окисленных и увеличение – восстановленных форм элементов. Для изучаемых зон наблюдается заметный градиент содержания различных токсических веществ [5]. Максимальная концентрация нефтепродуктов – в ДО зоны 1, куда поступают стоки с городской территории.

Накопление и трансформация биогенных элементов в различных зонах связаны не только с антропогенным воздействием, но и с естественны-

Таблица 6. Сопряженность между градациями амфиодно-олигохетного индекса (строки) и градациями Eh (столбцы)

Градация строк по амфиодно-олигохетному индексу	Градация столбцов по величине Eh			Итог по строкам
	1	2	3	
1	20	1	0	21
2	34	1	6	41
3	13	12	8	33
Итог по столбцам	67	14	14	95

ми процессами седиментогенеза, характерными для глубоководных районов Онежского оз. Так, содержание С было наибольшим в зонах 1 и 2, что отражает накопление ОВ (загрязняющих и гумусовых), поступающих с речными и сточными водами. Максимальные концентрации Fe и Mn оказались в наиболее глубоководной зоне 3. Источниками поступления в залив Fe и Mn служат, главным образом, воды р. Шуи [14].

С использованием таблиц сопряженности был выполнен анализ связей между амфиодно-олигохетным индексом и физико-химическими показателями ДО. Преимущество использования таблиц сопряженности состоит в возможности изучения зависимостей между показателями, распределение значений которых не обязательно подчиняется нормальному закону [15]. Данные по физико-химическим показателям логарифмировали и разделяли на три группы, каждой из которых был присвоен ранг. Достоверность связей оценивали по величине критерия χ^2 .

Расчеты показали, что связь между содержанием нефтепродуктов, С, Mn и Fe в ДО, с одной стороны, и амфиодно-олигохетным индексом, с другой стороны, недостоверна ($p > 0.05$), значения χ^2 варьировали в пределах 2–9.

Значимая связь ($p < 0.05$) обнаружена между величиной амфиодно-олигохетного индекса и значениями Eh, величина критерия χ^2 составила 28 (табл. 6). В первом столбце табл. 6 представлены наиболее загрязненные пробы ДО с наименьшими значениями Eh. В первом столбце доля проб с низкими и средними значениями амфиодно-олигохетного индекса (первая и вторая строки) максимальна и составляет 81% (54 из 67), доля проб с высокими значениями индекса (третья строка) мала и составляет лишь 19% (13 из 67).

Во втором и третьем столбцах табл. 6 представлены данные по менее загрязненным пробам с высокими значениями Eh. Здесь в третьей строке

отмечается максимальное количество высоких значений амфиодно-олигохетного индекса, причем во втором столбце доля высоких значений индекса составила 86% (12 из 14), в третьем – 57% (8 из 14).

Таким образом, использование амфиодно-олигохетного индекса позволило выделить на дне Петрозаводской губы Онежского оз. зоны, различающиеся по структуре макрозообентоса, а также по степени загрязненности ДО.

ВЫВОДЫ

С использованием амфиодно-олигохетного индекса в ДО Петрозаводской губы Онежского оз. выявлены участки с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией: места сброса коммунально-бытовых сточных вод, нефтебазы, устья рек.

Достоверная связь между значениями амфиодно-олигохетного индекса и величиной Eh верхнего слоя ДО свидетельствует о высокой информационной значимости индекса для целей экологического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумов В.А.* Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 18–41.
2. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / Под ред. Петровой. Н.А. Л.: Наука, 1982. 304 с.
3. *Ариунушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
4. *Баканов А.И.* Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.
5. *Белкина Н.А.* Онежское озеро и его притоки. Химический состав донных отложений // Состояние водных объектов Республики Карелия (по результатам мониторинга 1998–2006 гг.). Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. С. 41–49.
6. *Ивантер Э.В., Коросов А.В.* Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во Петргу, 2003. 304 с.
7. *Калинкина Н.М., Куликова Т.П.* Эволюционная обусловленность реакции гидробионтов на изменение ионного состава воды (на примере пресноводного зоопланктона) // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. № 2. С. 243–248.
8. *Кауфман З.С., Полякова Т.Н.* Донная фауна // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 216–230.
9. *Лифшиц В.Х.* Краткая физико-географическая характеристика и некоторые элементы гидрологиче-

- ского режима Петрозаводской губы // Гидробиология Петрозаводской губы Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во Карельского фил. АН СССР, 1980. С. 5–10.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
11. Онежское озеро. Экологические проблемы / Под ред. Филатова Н.Н. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1999. 293 с.
12. РД 52.24.309-92. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 67 с.
13. *Рябинкин А.В., Полякова Т.Н.* Макрозообентос озера и его роль в питании рыб // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. 272 с.
14. *Сабылина А.В.* Онежское озеро и его притоки. Химический состав воды притоков // Состояние водных объектов Республики Карелия (по результатам мониторинга 1998–2006 гг.). Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. С. 21–29
15. *Шутиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 2. 337 с.
16. *Belkina N.A.* Chemical composition of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu, 1999. V. 3. P. 18–21.