

Захаров В. М., Борисов В. И., Баранов А. С., Валецкий А. В., 1996. Золотой карась (*Carassius carassius*) // Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды. М.: Московское отделение Международного фонда «Биотест». С. 41–46.

Туманов М. Д., Шубин Ю. П., 1999 Оценка экологической ситуации в бассейне р. Усы (приток Печоры I порядка) после аварии нефтепровода по данным анализа флуктуирующей асимметрии // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера: Тез. докл. II Междунар. конф. Петрозаводск. С. 64–65.

Якубовский М., 1970. Методы выявления и окраски системы каналов в боковой линии и костных образований у рыб *in toto* // Зоологический журнал. Т. 49 № 9. С. 1398–1402.

ASYMMETRY OF THE PAIR STRUCTURES COMMON MINNOW SOME WATERWAY BASIN OF THE RIVERS PECHORA AND VYCHEGDA

D.D. Kazakova

Syktyvkar state university, Syktyvkar, Russia
e-mail: kazakovadd@rambler.ru

Fluctuate asymmetry (FA) is small undirected deviations from strict symmetry in construction of the different morphological structures, having bilateral symmetry in normal conditions. We have processed collections of minnow from different basin areas of the rivers Vychegda (116 pcs.), Pechora (44 pcs.) and Kara (41 pcs.). The frequency and the value of asymmetric manifestation on sign have no clear rule changes and there are no excess within the mark ($FAM/S < 0.30$, $VAM/S < 0.040$ accordingly). It may be explained by the purity of water in this areas. The value to asymmetry for rakers is significantly exceeded this meaning for pair fins. The dispersion of asymmetry for rakers and breast fins has no clear rule changes too. The level of dispersion FA for abdominal fins has direct dependence from width position of reservoir, demonstrated, probably, reduction of ontogeny passing stability for minnow, inhabited in severe climate conditions. Dates obtained by correlation analysis confirm the direct dependency of the value of the dispersion FA calculated for abdominal fins from width position of the reservoir ($r=0.95$). The most dependency from level pollution surface water is noted for dispersion of asymmetry of the breast fins ($r=0.69$), coefficient of correlation between level of contamination and rest factors for level of asymmetry does not exceed 0.3.

НОВЫЙ ИНДЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Н.М. Калинкина, Н.А. Белкина, Т.Н. Полякова, М.Т. Сярки

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия
e-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru

Введение

Макрозообентос Онежского озера изучен к настоящему времени весьма подробно. Исследования ведутся более 50 лет и охватывают все районы озера. Выполнены обобщения по количественному развитию, структуре бентосных сообществ, их продуктивности, дана оценка бентоса как кормовой базы рыб Онежского озера, изучено антропогенное влияние на сообщества донных организмов (Полякова, 1980; Кауфман, Полякова, 1990; Полякова, 1992; Полякова, 1998; Полякова, 1999; Белкина, Полякова, 2000; Калинкина и др., 2005; Рябинкин, Полякова, 2008).

Донная фауна Онежского озера имеет ряд особенностей. Бентосные сообщества его профундали бедны в видовом отношении. Дно населяют виды, характерные для глубоководных, холодно-водных, изначально олиготрофных озер. В качестве доминирующих форм выступают реликтовые бокоплавы *Monoporeia affinis* Lindstr.(Bousfield) и олигохеты, суммарная численность и биомасса которых достигают 90–97% от общих показателей. Руководящей группой являются широко распространенные в озерах и реках малощетинковые черви – олигохеты. Вторая группа – реликтовые ракообразные (амфиподы) – обитает только в глубоководных озерах. Невысокую долю составляют личинки амфибиотических насекомых (хируномиды) и двусторчатые моллюски.

Большинство современных биотических индексов, основанных на использовании донной фауны, разработаны в основном для малых озер и рек (Семенченко, 2004), и мало применимы к условиям Онежского озера. Другие индексы, разработанные для больших водоемов, требуют трудоемкой работы по видовой идентификации организмов. В связи с этим весьма актуальным является поиск новых индексов, учитывающих структуру сообщества бентоса Онежского озера и позволяющих дать оценку его состояния в связи с антропогенным воздействием. Новый индекс должен быть достаточно простым, учитывающим структуру бентоса на уровне крупных таксономических рангов, поскольку, например, для олигохет оценка видового состава существенно затруднена.

Цель настоящих исследований – разработать индекс для оценки состояния сообществ глубоководных районов Онежского озера. При этом решались следующие задачи: рассмотреть статистическую природу гидробиологических показателей (численность основных групп бентоса); оценить связь гидробиологических показателей с экспертной оценкой состояния донных ценозов; выполнить зонирование дна Онежского озера по показателям бентоса; рассмотреть связь гидробиологических и физико-химических показателей донных отложений.

Материалы и методы

В работе использовали данные по численности амфипод, олигохет и хирономид за 1990–2007 гг. из различных районов Онежского озера (всего 517 проб, общее количество станций – 120). Количественные пробы бентоса отбирали дночерпателем Экмана-Берджа (площадь захвата 225 см²), используя в дальнейшем стандартные методики их обработки (Методические рекомендации..., 1984). В качестве физических и химических показателей донных отложений использовали: окислительно-восстановительный потенциал, pH, влажность, пористость, содержание углерода, азота, фосфора, марганца, железа, растительных пигментов, потери при прокаливании, потребление кислорода (данные за 2001–2008 гг. по 260 пробам; общее количество станций – 90). Отбор проб илов на химический анализ производился поршневой трубкой оригинальной конструкции. Химические анализы выполнены методами (Аринушкина, 1961; Belkina, 1999). Для обработки данных применяли методы многомерной статистики (Шитиков и др., 2005).

Результаты и обсуждение

Исследованиями было установлено, что показатели численности амфипод, олигохет и хирономид распределяются по логнормальному закону. Исходные данные подвергали несложным преобразованиям (вычисляли корень степени 0.5 и логарифмировали). Распределение преобразованных данных достоверно не отличалось от нормального ($p < 0.05$), что позволило в дальнейшем применять к ним параметрические методы статистики.

Каждой исследованной станции, где были отобраны пробы донных отложений, была присвоена экспертная оценка состояния макрозообентоса. Оценка принимала следующие значения: 1 балл (исходное состояние бентоса, вне зоны антропогенного воздействия); 2 (весьма слабое изменение); 3 (изменение средней степени); 4 (сильное изменение); 5 баллов (весьма сильно измененное состояние, вплоть до мертвых зон).

Для оценки информационной значимости гидробиологических данных вычисляли ранговый коэффициент корреляции Спирмена между преобразованными показателями численности трех групп, соотношениями их абсолютных значений, с одной стороны, и экспертной оценкой, с другой стороны. Корреляция разных показателей с экспертной оценкой различалась (табл. 1).

Таблица 1

Связь показателей численности с экспертной оценкой состояния донных сообществ

Показатели	Коэффициент корреляции
Численность амфипод	–0,31
Численность олигохет	0,47
Численность хирономид	0,17
Численность амфипод/ Численность олигохет	–0,48
Численность амфипод/ Численность хирономид	–0,38
Численность олигохет/Численность хирономид	0,22

Все рассчитанные коэффициенты были достоверны ($p < 0.05$, $n = 517$), однако наиболее тесную связь с экспертной оценкой проявили показатели – «Численность амфипод», «Численность олигохет» и соотношение «Численность амфипод/ Численность олигохет». Причиной такой тесной корреляции является разная толерантность представителей амфипод и олигохет к антропогенному воздействию. Реликтовые ракообразные являются наименее устойчивыми к действию загрязняющих веществ. Они весьма требовательны к содержанию кислорода в среде обитания, чувствительны к присутствию токсикантов. Именно для этой группы характерна выраженная отрицательная реакция на поступление загрязняющих веществ (район воздействия Кондопожского ЦБК, район поступления коммунальных сточных вод Петрозаводска, Медвежьегорска и др.). Олигохеты проявили противоположную амфиподам реакцию. Их численность резко увеличивалась в местах загрязнения донных отложений за счет интенсивного развития весьма устойчивых представителей этой группы – тубифицид.

Выявленная гораздо более слабая связь с экспертной оценкой численности хирономид объясняется особенностями их биологического цикла. Вылет имаго отражается на высокой изменчивости показателей численности личинок насекомых.

Наиболее информативные показатели – численность амфипод, олигохет и их соотношение были использованы для зонирования дна Онежского озера. Для выделения зон на дне Онежского озера применили метод главных компонент, который позволяет учитывать при классификации объектов не только абсолютные значения признаков, но и, что наиболее важно для нашего случая, их соотношения. В качестве показателей использовали преобразованные значения численности амфипод и олигохет. На рисунке 1 представлены результаты классификации проб бентоса для Кондопожской губы Онежского озера.

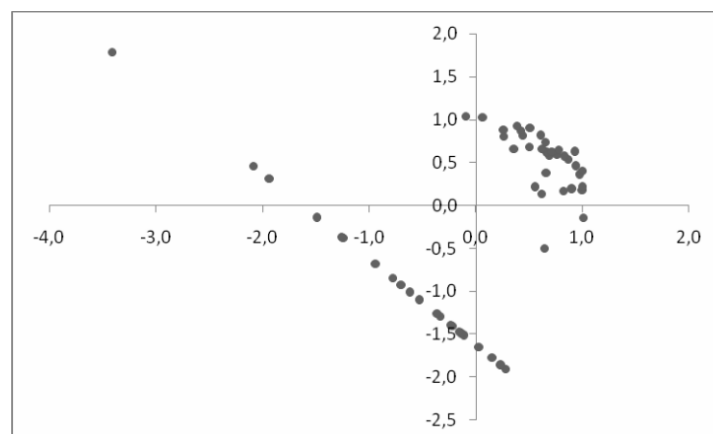


Рис. 1. Расположение проб зообентоса из Кондопожской губы Онежского озера в осях главных компонент; по оси абсцисс – первая компонента; по оси ординат – вторая компонента

В первую главную компоненту (ось абсцисс) показатели численности амфипод и олигохет вошли с достоверными положительными весовыми коэффициентами. Следовательно, эта компонента отражает обилие бентоса в пробе. Во вторую главную компоненту (ось ординат) показатели вошли с достоверными коэффициентами, но с противоположными знаками. Значит, вторая компонента представляет собой соотношение численности амфипод и олигохет. На графике хорошо заметно разделение всех проб на две группы. Группа, расположенная в нижней части диаграммы, состоит из проб, отобранных в наиболее загрязненных участках Кондопожской губы. Эта зона начинается в вершинной части губы, где находится целлюлозно-бумажный комбинат, и простирается на юго-восток, примерно на 10 км. Пробы из другой группы (вверху графика) были отобраны из более чистых центральной и открытой частей Кондопожской губы (более чем в 10 км от комбината). Таким образом, с помощью метода главных компонент было проведено разделение всех проб на две большие группы – из загрязненных и слабо измененных участков Кондопожской губы.

Более детальная классификация проб была выполнена с использованием дискриминантного анализа. Пробы бентоса были разделены на три группы по величине соотношения численности ам-

фипод и олигохет. Эта соотношение получило условное название «амфиподно-олигохетного индекса». Всего было выделено три категории значений индекса, которым соответствовали три зоны с разной степенью изменения донных сообществ в результате антропогенного воздействия (табл. 2).

Таблица 2

Пороговые значения амфиподно-олигохетного индекса (А/О) для классификации проб зообентоса

Номер категории	Пороговые значения индекса	Характеристика зоны
1	$A/O < 0.005$	Импактная зона антропогенного воздействия
2	$0.005 < A/O < 0.08$	Зона заметного антропогенного воздействия
3	$A/O > 0.08$	Зона слабого антропогенного воздействия

В отдельную, четвертую, группу были выделены пробы с полным отсутствием организмов бентоса. Эти пробы были взяты из вершинной части Кондопожской губы, так называемой «мертвой зоны», где развитие бентоса полностью подавлено в связи с интенсивным загрязнением здесь донных осадков.

Дискриминантный анализ показал, что точность разнесения проб в четыре группы составила 98%. Поскольку зона слабого антропогенного воздействия в Кондопожской губе характеризовалась высокими показателями общего развития организмов макрозообентоса, то она получила название «зоны повышенного развития бентоса».

Выявленные пороговые значения амфиподно-олигохетного индекса были использованы для зонирования дна в других районах Онежского озера (Петрозаводская губа, Повенецкий залив, Кижские шхеры, Центральное Онего и др.). Точность выделения трех зон, согласно данным дискриминантного анализа, была высока и варьировала в пределах 95-98%. Пробы, отобранные в центральном глубоководном районе озера, были отнесены к третьей зоне, однако характеризовались наиболее низкими общими показателями развития бентоса. Этот район получил название «фоновой зоны».

Таким образом, амфиподно-олигохетный индекс позволил с высокой точностью разделить пробы макрозообентоса на группы и выделить пять зон в различных районах Онежского озера: мертвая, импактная, среднего воздействия, повышенного развития бентоса, фоновая.

Был выполнен анализ распределения логарифмированных значений этого индекса, вычисленного для всего массива данных по всему Онежскому озеру. Оказалось, что распределение индекса имеет резко асимметричный характер (рис. 2).

Наблюдаемый асимметричный характер распределения значений индекса отражает действие антропогенного фактора, приводящего к заметному снижению его значений в зонах загрязнения. Для проверки этого предположения весь массив данных была разделен на две группы. Первую группу составили значения индекса менее 0.08, т.е. пробы из зоны сильного и среднего воздействия (см. табл. 2).

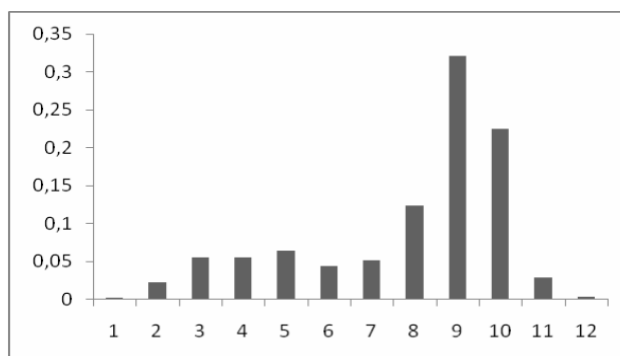


Рис. 2. Частоты логарифмированных значений амфиподно-олигохетного индекса для массива данных по всему Онежскому озеру; по оси абсцисс – номер класса; по оси ординат – частота

Во вторую группу вошли пробы со значениями индекса более 0.08, т.е. из зон слабого воздействия и фоновой. Первая группа сохранила асимметричный характер распределения, который достоверно отличался от нормального. Вторая группа значений имела нормальное распределение

($p=0.056$, $n=354$), что характерно именно для чистых районов озера (рис. 3). Таким образом, индекс действительно отражает существование зон загрязнения и может быть использован для их идентификации на дне Онежского озера.

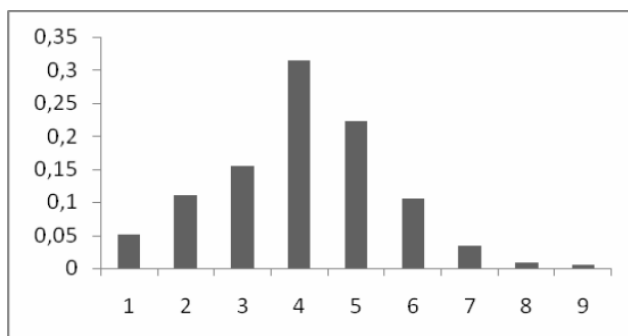


Рис. 3. Частоты логарифмированных значений амфиодно-олигохетного индекса для массива данных из зон слабого воздействия и фоновой; по оси абсцисс – номер класса; по оси ординат – частота

Одной из задач исследования было выяснение характера связи между гидробиологическими и физико-химическими показателями донных осадков. Для выделенных зон были рассчитаны средние значения физико-химических показателей. Оказалось, что ход большинства физических и химических показателей при переходе от фоновой зоны к наиболее загрязненным отражает закономерные процессы. Так, величина окислительно-восстановительного потенциала снижалась, а содержание углерода возрастало, что отражало процессы накопления и последующего разложения органического вещества сточных вод и связанное с этим потребление кислорода из водной толщи. Что касается биогенных элементов, то их накопление и трансформация в различных зонах связаны не только с поступлением сточных вод, но и с процессами седиментогенеза в глубоководных районах Онежского озера. Таким образом, выделенные по величине амфиодно-олигохетного индекса зоны отражают не только разную степень изменения макрозообентоса, но и различную загрязненность донных отложений.

Выводы

На основании анализа данных за 1990–2008 гг. разработан амфиодно-олигохетный индекс для оценки состояния донных сообществ бентали Онежского озера. Индекс прост в определении и позволяет выделять зоны загрязнения на дне Онежского озера. С использованием индекса выделено пять зон на дне Онежского озера: мертвая, импактная, среднего воздействия, повышенного развития бентоса, фоновая. Зоны отражают изменения основных гидрохимических показателей, связанные с антропогенным воздействием. Амфиодно-олигохетный индекс может быть внедрен в систему экологического мониторинга за состоянием Онежского озера при автоматизированной обработке результатов наблюдений.

Литература

- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
- Белкина Н.А., Полякова Т.Н., 2000. Многолетние изменения химического состава донных отложений и структуры ценозов макрозообентоса // Гидроэкология на рубеже веков. Тезисы докладов международной конференции. СПб. С. 23–25.
- Калинкина Н.М., Тимакова Т.М., Полякова Т.Н., Белкина Н.А., 2005. Проблемы биотестирования донных отложений // Экологические проблемы токсикологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. С. 39–51.
- Кауфман З.С., Полякова Т.Н., 1990. Донная фауна // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука. С. 216–230.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
- Полякова Т.Н., 1980. Зообентос Петрозаводской губы Онежского озера // Гидробиология Петрозаводской губы Онежского озера. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 103–129.
- Полякова Т.Н., 1992. Современное состояние донных сообществ Большой губы Повенецкого залива // Большая губа Повенецкого залива. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С.88–98.

Полякова Т.Н., 1998. Макрозообентос. Онежское озеро // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С.64–67.

Полякова Т.Н., 1999. Донные ценозы в условиях антропогенного эвтрофирования // Онежское озеро. Экологические проблемы. Ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 211–227.

Рябинкин А.В., Полякова Т.Н., 2008. Макрозообентос озера и его роль в питании рыб // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 272 с.

Семенченко В.П., 2004. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Мн.: Орех. 125 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д., 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 2. 337 с.

Belkina N.A., 1999. Chemical composition of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu. V.3 P. 18–21.

A NEW INDEX TO ASSESS THE CONDITION OF MACROZOOBENTHOS COMMUNITIES IN DEEP-WATER PARTS OF LAKE ONEGO

N.M. Kalinkina, N.A. Belkina, T.N. Polyakova, M.T. Syarki

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia

The data on macrozoobenthos communities in Lake Onego collecting in 1990–2008 are presented. New the amphipod/oligochaete index was worked to assess the condition of benthic communities in Lake Onego. The index is easy to apply, and enables identification of pollution zones on Lake Onego bottom. Five zones were distinguished on Lake Onego bottom using the index: dead, heavy impact, moderate impact, increased benthos development, reference zones. The zones reflect changes in the main hydrochemical parameters, related to human impact. The amphipod/oligochaete index can be integrated into the system of Lake Onego ecological monitoring with automated processing of the results of observations.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЫБ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

**Н.М. Калинкина, М.Т. Сярки, Е.В. Теканова, Т.А. Чекрыжева, Т.М. Тимакова,
Т.Н. Полякова, А.В. Рябинкин**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

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

Введение

Важнейшим направлением гидробиологических исследований является оценка биоресурсного потенциала водных экосистем (Алимов и др., 2005). Точное количественное определение вылова рыбы возможно с использованием продукционного подхода, который предполагает исследование закономерностей передачи вещества и энергии через трофические звенья экосистемы (Винберг, 1960; Алимов, 1989; Алимов, 2000). В более ранних исследованиях рассчитывались элементы биотического баланса для отдельных районов Онежского озера (Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения, 1990; Онежское озеро, 1999). В настоящей работе впервые выполнен расчет биотического баланса для экосистемы Онежского озера в целом, при этом в расчет включено высшее звено экологической пирамиды – рыбы.

Цель настоящих исследований заключалась в изучении трофической структуры и рыбопродуктивности экосистемы Онежского озера. Задачи, которые решали в ходе исследования: оценить первичную продукцию фитопланктона; оценить современное состояние сообществ бактерио-, фито-, зоопланктона, бентоса как основы для формирования кормовой базы рыб; оценить возможную рыбопродукцию Онежского озера.

Материалы и методы

В работе представлены данные по планктонной системе Онежского озера за 1988–2006 гг.; данные по макрозообентосу – за 2001–2006 гг. Использовали показатели численности, биомассы и