

УДК 574.52:574.24

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ ОЗЕРА ИЛЬМЕНСКОЕ

© И.В. Машкова, Т.Г. Крупнова, А.М. Кострюкова, Н.Е. Артемьев

Ключевые слова: биоиндикация; брюхоногие моллюски; физико-химические показатели качества воды; высота раковины; ординация; метод главных компонент. Рассмотрено влияние физико-химических показателей качества воды озера Ильменское на развитие пресноводного брюхоногого моллюска *Viviparus viviparus* в эталонных условиях Ильменского государственного заповедника. Проведены анализ и визуализация экспериментальных данных с помощью ординационного канонического анализа, используя метод главных компонент.

Методы биоиндикации водной среды в настоящее время приобретают все более важное значение в связи с усложняющимся техногенным воздействием на природные экосистемы, поскольку исследование лишь одних абиотических факторов не дает возможности оценить всей полноты антропогенного изменения внешней среды.

В предыдущих работах нами были изучены возможности биоиндикации качества воды водоемов Южного Урала по состоянию биоразнообразия фитопланктона и высшей водной растительности [1–3].

Брюхоногие моллюски имеют важное значение для биомониторинга пресных поверхностных вод, в частности для выявления долговременных антропогенных воздействий [4]. *Viviparus viviparus* (Лужанка живородящая) – наиболее распространенный в пресных водоемах Южного Урала моллюск, который после проведения соответствующих исследований может быть с успехом использован в качестве индикаторного вида.

Изучение влияния экологических факторов на показатели развития Лужанки представляет, во-первых, значительный теоретический интерес, поскольку позволяет расширить представления о взаимоотношениях организма моллюска со средой, во-вторых, имеет практическое значение в плане выявления взаимосвязи абиотических и биотических показателей оценки качества водной среды. В настоящей работе изучено влияние физико-химических показателей на развитие Лужанки в эталонных условиях Ильменского заповедника. Для интерпретации экспериментальных данных был использован метод канонического анализа, который в настоящее время широко применяется в экологических исследованиях [5].

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Ильменское расположено на территории Ильменского государственного заповедника УрО РАН. Озеро принадлежит Карскому гидрографическому бассейну (или Обскому бассейну Северного Ледовитого океана). Площадь водного зеркала – 4,56 км², высота над уровнем моря – 331,4 м, максимальная глубина – 6,1 м, средняя – 3,0 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в июне–июле 2012 г. Для проведения исследований были выбраны 5 точек в прибрежной зоне (рис. 1).

Моллюски собирались вручную с грунта (на мелко-водье), с поверхности водных растений и камней, с применением специализированных орудий сбора: скребка, драги, сита. Животные извлекались и фиксировались в 96 %-ном спиртовом растворе.

Раковины моллюсков измерялись с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Раковины промерялись по шести стандартным промерам: высота раковины, ширина раковины, высота завитка, высота последнего оборота, высота и ширина устья с колумеллярным отверстием. Всего было промерено 400 раковин.

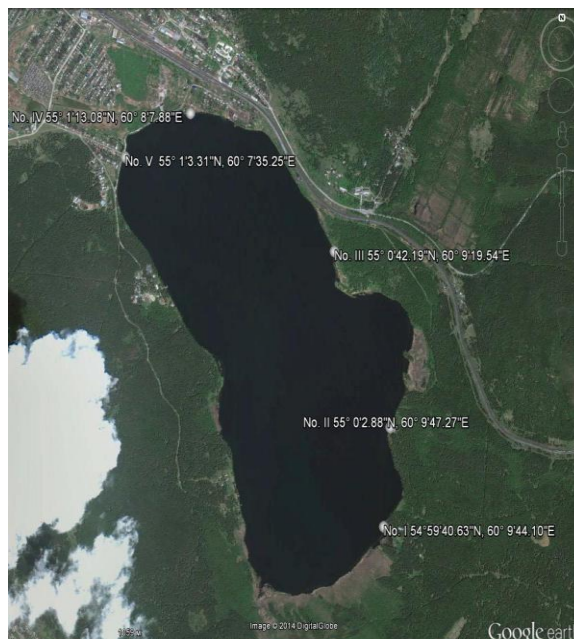


Рис. 1. Точки пробоотбора озера Ильменское

Таблица 1

Химические показатели качества воды, используемые обозначения и методы определения

Химический показатель	Код	Метод
Азот аммонийный, мг/л	NH_4^+	Спектрофотометрически с реактивом Несслера при длине волны 690 нм согласно ГОСТ Р 14.1:2.1-95
Азот нитратов, мг/л	NO_3^-	Спектрофотометрически с салициловой кислотой при длине волны 410 нм согласно ГОСТ Р 14.1:2.4.4-95
Азот нитритов, мг/л	NO_2^-	Спектрофотометрически с реактивом Грисса при длине волны 520 нм согласно ГОСТ Р 14.1:2.3-95)
Фосфор ортофосфатов, мг/л	Ортоф.	Спектрофотометрически с молибдатом аммония при длине волны 690 нм согласно ГОСТ Р 4.1:2.112-97
Фосфор полифосфатов	Полиф.	Спектрофотометрически с молибдатом аммония при длине волны 690 нм согласно ГОСТ 18309-72
Хлориды, мг/л	Cl^-	Титрованием нитратом серебра по методу Мора ГОСТ Р 14.1:2.4.111-97
Бикарбонаты, ммоль/л	CO_3^{2-}	Расчетно из значений pH, щелочности (определялась титрованием 0,1 Н соляной кислотой с метиловым оранжевым) и содержания растворенной углекислой кислоты
Растворенный углекислый газ, мг/л	CO_2	Титрованием гидроксидом натрия с фенолфталеином
Жесткость общая, ммоль/л	$\text{Ж}_{\text{общ}}$	Титрованием трилоном Б с хромогеном черным, согласно ГОСТ Р 52407-2005
Жесткость кальциевая, ммоль/л	Ca^{2+}	Титрованием трилоном Б с мурексидом
Магний, мг/л	Mg^{2+}	Расчетно по разности общей и кальциевой
Цветность, град.	Цв	Спектрофотометрически по платино-кобальтовой шкале цветности при длине волны 420 нм согласно ГОСТ Р 52769-2007
Содержание железа общего, мг/л	Fe	Спектрофотометрически с сульфосалициловой кислотой при длине волны 440 нм согласно ПНД Ф 14.1:2.4.50-96
Перманганатная окисляемость, $\text{MgO}_2/\text{л}$	Окисл.	Титриметрически перманганатом калия в кислой среде по методу Кубеля согласно ГОСТ Р 14.1:2.4.154-99

Отбор проб воды для определения физико-химических параметров и гидрохимического анализа осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000. Такие показатели как показатель кислотности (pH), растворенный кислород (O_2 , мг/л), температура воды ($T_{\text{вод}}$, °C), температура воздуха ($T_{\text{возд}}$, °C) измеряли *in situ* с использованием портативного Multitest. IPL-513 (SemicoLtd, Новосибирск) и ртутного термометра. Насыщаемость кислородом (Насыщ., %) рассчитывали исходя из табличных значений равновесного содержания кислорода при соответствующих температурах. Химико-аналитические исследования проб воды производили согласно стандартным методикам (табл. 1). Для спектрофотометрических исследований был использован фотоколориметр КФК-3.

Для анализа данных был использован метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) [6]. Его можно использовать при определении влияния факторов внешней среды на вариабельность показателей развития гидробионтов [5], в частности, этот метод был применен в работе [7] для анализа зависимости размеров моллюсков вида *Margarya melanioides* озера Дианчи (Китай). Визуализация данных производилась с использованием модуля «GRAPHS», разработанного ООО «Вычислительные и информационные системы».

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнивая коэффициенты изменчивости некоторых морфологических признаков моллюска, отметили, что вариабельность высоты раковины составляет 27,7 %, тогда как вариабельность других параметров заметно

меньше, например, для количества завитков – 12,7 %. Следовательно, изучение диапазона нормы реакции признака высоты раковины позволит оценить роль генотипа и среды в формировании изменчивости особей в естественных популяциях.

Высота раковины использовалась в качестве относительного показателя возраста моллюсков. В каждой точке было определено нормированное количество раковин каждого класса. Согласно выборке был рассчитан классовый интервал и произведена разбивка раковин на шесть классов согласно размерам 1,0...1,4 см, 1,5...1,9 мм, 2,0...2,4 мм, 2,5...2,9 мм, 3,0...3,4 мм, 3,5...3,9 мм.

Методом графов (рис. 2) были определены главные компоненты, которые оказывают определяющее влияние на размерно-возрастную структуру популяции.

Из 19 физико-химических показателей наиболее значимыми оказались 7, которые были включены в корреляционную матрицу переменных, участвующих в дальнейшем анализе.

На рис. 3 представлен канонический ординационный анализ данных по методу главных компонент.

Молодые особи и зрелые положительно коррелируют с жесткостью, содержанием карбонатов и концентрацией ионов магния в озерной воде. Ионы жесткости и карбонаты в природной воде связаны сложным углекислотным равновесием. Низкая жесткость воды ведет к тому, что карбонат кальция вступает в реакцию с углекислым газом, что существенно изменяет показатель pH. Углекислый газ, растворенный в воде, образует угольную кислоту, которая диссоциирует на карбонаты и бикарбонаты, причем на всех этапах вода обога-

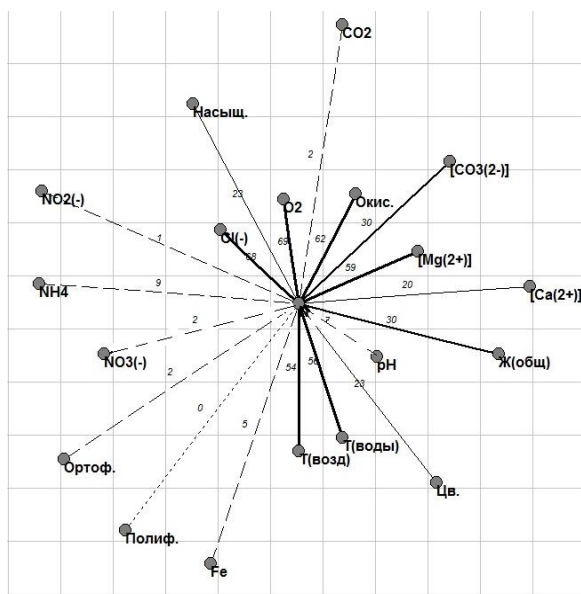


Рис. 2. Определение главных компонент

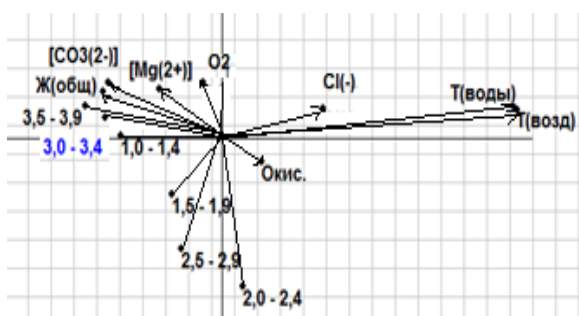


Рис. 3. Канонический ординационный анализ по методу главных компонент

щается ионами водорода. В жесткой воде кальций и магний выступают буфером, тормозящим эти сдвиги. Брюхоногие пресноводные моллюски относятся к реагирующим на сдвиги pH среды животным. В работах [8–9] сообщается об отрицательном влиянии слабкокислой среды на плодовитость, инкубационное выживание (повышенная смертность эмбрионов) и рост раковин. Таким образом, ионы жесткости и карбонат-ионы оказывают наибольшее влияние на самых молодых особей, поскольку лимитируют выживаемость эмбрионов, и на самых зрелых, регулируя рост раковин.

Одновременно для молодых и зрелых особей наблюдается сильная отрицательная связь с температурой воды и воздуха. Известно [10], что при повышенных температурах происходит снижение уровня физиологических процессов моллюсков. В общем случае к отрицательному воздействию всегда наименее адаптированы молодые и старые особи. Сильная связь с температурным фактором объясняется тем, что выбранные нами точки относятся к мелководной прибрежной зоне.

Содержание хлорид-ионов отрицательно коррелирует с количеством мелких и крупных особей. Исследуемое озеро относится к пресным водоемам гидрокарбонатного типа $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$, поэтому повышенные концентрации хлорид-ионов меняют обыч-

ную среду обитания моллюсков и наихудшим образом к этому адаптируются молодь и старые организмы [3].

Отметим, что химический состав воды озера Ильменское, как и большинства озер, изменяется в связи с биологической активностью гидробионтов. Вода озера в исследуемый летний период (июне–июле) характеризуется высоким содержанием кислорода (до 8,6 мг/л) и одновременно высоким значением окисляемости (до 24 мг O_2 /л) [3]. По-видимому, это связано с тем, что в условиях отсутствия антропогенной нагрузки при мезотрофном статусе создаются весьма благоприятные условия для развития фитопланктона и роста высших водных растений [3]. Фитопланктон и макрофиты обогащают воду кислородом, содержание которого становится выше равновесного, одновременно в результате процессов жизнедеятельности и отмирания микроорганизмов окисляемость воды повышается. Но все же для точки III с самым большим значением окисляемости характерно наименьшее содержание и кислорода, т. е. в условиях кислород расходуется на окисление органических веществ, а в воде накапливаются токсичные газы, образующиеся при разложении микроорганизмов [3]. Поэтому корреляция размеров с содержанием кислорода и окисляемостью противоположна, кроме того в обоих случаях достаточно слаба в силу слабой вариативности рассматриваемых физико-химических показателей. При этом на особей размеров 1,5...1,9 мм и 2,5...2,9 мм эти показатели влияния не оказывают. То есть в пределах, полученных в результате исследования содержаний окисляемости и растворенного кислорода, количество моллюсков данных размеров во всех точках одинаково.

В свою очередь корреляция количества особей с размерами 1,0...1,4 мм и 3,0...3,9 мм с содержанием кислорода положительна, а с окисляемостью отрицательна. И, наоборот, для моллюсков с размерами 2,0...2,4 мм выявлена отрицательная зависимость от содержания кислорода в воде и положительная – от окисляемости. По-видимому, токсичные газы, накапливаемые, надо отметить, в небольших количествах в процессе разложения отмерших микроорганизмов, оказывают губительное действие в первую очередь на выживаемость эмбрионов, а уже на половозрелых особей не влияют, поэтому класс с размером 2,0...2,4 мм увеличивается в условиях высокой окисляемости за счет большого количества питания. На стареющих особей, с точки зрения количественной токсикологии, токсичные вещества также оказывают отрицательной воздействие, приводя к их гибели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые методами канонического анализа была исследована зависимость развития популяции брюхоногого моллюска *Viviparus viviparus* от физико-химических показателей качества воды озера Ильменское.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кострюкова А.М., Крупнова Т.Г., Машкова И.В. Биомониторинг озер Ильменского государственного заповедника // Молодой ученый. 2013. № 4. С. 156–158.
2. Кострюкова А.М., Машкова И.В., Крупнова Т.Г. Биоразнообразие гидробионтов в оценке экологического состояния озер южного лесничества Ильменского заповедника // Исследования в области естественных наук. 2013. № 12. Вып. 24. С. 2.

3. Крупнова Т.Г., Кострюкова А.М., Машкова И.В., Ракова О.В. Экологические проблемы состояния водной экосистемы озера Ильменское // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2013. Т. 18. Вып. 3. С. 878-882.
4. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. М., 1985.
5. Leps J., Smilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. N. Y., 2003.
6. Новаковский А.Б. Обзор современных программных средств, используемых для анализа геоботанических данных // Растительность России. 2006. № 9. С. 86-96.
7. Zhuoyan S., Junqian Z., Xiaoming J., Chouming W., Zhicai X. Population structure of an endemic gastropod in Chinese plateau lakes: evidence for population decline Freshwater // Science. 2013. V. 32. № 2. URL: http://www.jstor.org/stable/10.1899/12-099.1?__redirected (accessed: 11.05.2014).
8. Shaw M.A., Mackie G.L. Reproductive success of *Amnicola limosa* (Gastropoda) in low alkalinity lakes in south-central Ontario // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1989. № 46. P. 863-869.
9. Echeverría C.A., Neves R.A.F., Pessoa L.A., Paiva P.C. Spatial and temporal distribution of the gastropod *Heleobia australis* in an eutrophic estuarine system suggests a metapopulation dynamics // Natural Science. 2010. № 2. P. 860-867.
10. Кутцына Л.А. Влияние температурного режима водоема-охладителя ТЭС на интенсивность обмена и размера *Valvata piscinalis* // Моллюски. Пути, методы и итоги их изучения. Л., 1971. С. 92-94.

Поступила в редакцию 11 июля 2014 г.

Mashkova I.V., Kostryukova A.M., Krupnova T.G., Artemyev N.E. INFLUENCE OF PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS OF ENVIRONMENT ON INDICATORS OF DEVELOPMENT OF GASTROPODS LAKE ILMEN

The influence of physico-chemical parameters of water quality Lake Ilmen on the development of freshwater gastropod *Viviparus Viviparus* in the reference conditions of Ilmen State Reserve is considered. It is conducted the analysis and visualization of experimental data with the canonical correspondence analysis, using Principal Component Analysis.

Key words: bioindication; gastropods; physico-chemical parameters of water quality; height shell; ordination; Principal Component Analysis.

Машкова Ирина Вячеславовна, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Экология и природопользование», e-mail: mashkoffa@yandex.ru

Mashkova Irina Vyacheslavovna, Ph.D. (Biology), Associate Professor of Chair of Ecology and Nature Management, the Chemistry Department of Federal State Funded Educational Institution of Higher Professional Education «South Ural State University» (National Research University), Chelyabinsk, the FSFEI of HPE «SUSU» (NRU), Chair of Ecology and Nature Management, E-mail: mashkoffa@yandex.ru

Крупнова Татьяна Георгиевна, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация, кандидат химических наук, доцент кафедры «Экология и природопользование», e-mail: krupnovatg@mail.ru

Krupnova Tatyana Georgyevna, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, Candidate of Chemistry, Associate Professor of Ecology and Nature Management, e-mail: krupnovatg@mail.ru

Кострюкова Анастасия Михайловна, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация, кандидат химических наук, e-mail: anmikost@mail.ru

Kostryukova Anastasiya Mikhaylovna, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, Candidate of Chemistry, e-mail: anmikost@mail.ru

Артемиев Николай Евгеньевич, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Экология и природопользование», e-mail: artnickolaus@yandex.ru

Artemyev Nicholay Evgenevich, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of Direction of Preparation "Ecology and Nature Use", e-mail: artnickolaus@yandex.ru