

УДК 577.152.321:597.554.3:[504.5:628.3](470.22)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД КОСТОМУКШСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА НА АКТИВНОСТЬ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ ПЛОТВЫ**

**Е. А. Вдовиченко, Р. У. Высоцкая**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН*

Исследована активность лизосомальных ферментов ( $\beta$ -глюкозидазы,  $\beta$ -галактозидазы, ДНКазы, РНКазы, кислой фосфатазы) в органах плотвы *Rutilus rutilus* L. из чистого озера (оз. Каменное) и двух водоемов озерно-речной системы Кенти – Кенто, принимающей техногенные воды горно-обогатительного комбината (ОАО «Карельский окатыш»). У рыб из верхнего озера (оз. Костомукшского, преобразованного в хвостохранилище комбината) и нижнего (оз. Койвас, отличающегося кратностью разбавления техногенных вод) выявлены существенные сдвиги в активности ферментов. Показано, что активность кислой фосфатазы и нуклеаз в печени и жабрах у рыб из хвостохранилища выше, чем у особей из оз. Койвас, что служит косвенным показателем усиления биосинтетических процессов и мобилизации защитных сил организма. Отмечено адаптивное повышение уровня активности  $\beta$ -глюкозидазы, свидетельствующее о вовлечении содержащих глюкозу компонентов в процессы анаэробного обеспечения организма рыб энергией в условиях минерального загрязнения водоемов. Обсуждается зависимость ответных биохимических реакций рыб от состава и интенсивности загрязнения вод отходами железорудного производства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** лизосомальные гликозидазы, лизосомальные нуклеазы, кислая фосфатаза, биохимическая адаптация, минеральное загрязнение, плотва.

### **E. A. Vdovichenko, R. U. Vysotskaya. THE EFFECT OF WASTEWATER FROM THE KOSTOMUKSHA IRON-ORE MINING AND CONCENTRATION MILL ON LYSOSOMAL ENZYME ACTIVITY IN ROACH**

The activity of lysosomal enzymes ( $\beta$ -glucosidase,  $\beta$ -galactosidase, DNase, RNase, acid phosphatase) in the organs of roach *Rutilus rutilus* L., inhabiting a pure lake (Lake Kamennoe) and two reservoirs of the lake-river system Kenti – Kento, receiving ore mining and processing wastewater (from "Karelskiy Okatysh" mill), was investigated. Significant changes in the enzymatic activity between fish from the upstream lake (Kostomukshskoe, converted into a tailings dump) and the downstream lake (Koivas, with the wastewater far more diluted) were revealed. It was shown that the activity of acid phosphatase and nucleases in the liver and gills of roach inhabiting the tailings dump was higher than the activity of these enzymes in fish from Lake Koivas, which can be an indirect indicator of biosynthetic processes intensification and mobilization of defense mechanisms in organisms. The adaptive increase in  $\beta$ -glucosidase activity was marked. It indicates the involvement of glucose-containing components in the anaerobic processes of energy supply to an organism under the influence of mineral pollution. The dependence of biochemical responses in fish on the composition and intensity of water pollution by ore mining and processing wastewater is discussed.

## Введение

Поверхностные воды суши наиболее подвержены загрязнению, поскольку являются конечными накопителями различных загрязняющих компонентов, поступающих с речным стоком и переносимых воздушным путем в региональном и глобальном масштабах [Моисеенко, 2009]. Для своевременного выявления и прогноза развития негативных процессов, определяющих качество вод, разработки мер по предотвращению этих процессов проводится мониторинг водных объектов. Значительной трансформации подвергаются водные экосистемы, расположенные в регионах с развитой горнодобывающей и перерабатывающей промышленностью [Кашулин и др., 1999]. На севере Карелии таким объектом, испытывающим значительную антропогенную нагрузку, является озерно-речная система Кенти–Кенто. Основной источник воздействия на нее – техногенные воды Костомукшского горнообогатительного комбината (ГОК) по добыче и обогащению железорудного сырья [Лозовик и др., 2003]. Верхнее озеро системы (оз. Костомукшское) преобразовано в хвостохранилище и используется для хранения отходов производства (хвостов) и для оборотного водоснабжения предприятия. Воды хвостохранилища отличаются высокой минерализацией с преобладанием ионов калия, сульфатов и гидрокарбонатов, щелочным значением pH и наличием мелкодисперсной взвеси размолотой горной породы (табл.). Профильтовавшиеся через дамбу, отделяющую хвостохранилище от десяти нижележащих озер системы, и попадающие в результате ежегодных попусков по отводным каналам техногенные воды комбината оказывают влияние на всю экосистему р. Кенти. По результатам гидрохимических исследований, в нижних озерах соотношение основных ионов в воде такое же, как и в вышерасположенных, но их концентрации существенно отличаются. Так, в оз. Койвас кратность разбавления техногенных вод равна 3, в Ломозере – 5, а в оз. Среднее Куйто, куда впадает р. Кенти, – 40 [Состояние..., 2007]. Ионный состав воды в оз. Среднее Куйто практически соответствует природному с повышенной долей калия и сульфатов.

Гидрохимическая характеристика водоемов [Состояние..., 2007]

	Каменное	Койвас	хвостохранилище
Общая минерализация, мг/л	11,3	351,0	757,0
pH	5,8–6,9	7,0–7,5	8,0–8,5
K <sup>+</sup> мг/л	0,3	32,1	146,1
Na <sup>+</sup> мг/л	1	4,6	14,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> мг/л	1,9	57,1	172,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мг/л	1,2	48,2	147,3
Cl <sup>-</sup> мг/л	0,8	2,4	7

При проведении биомониторинга и тестирования водных объектов в настоящее время применяют как традиционные биологические, так и физиолого-биохимические и молекулярно-генетические методы [Сидоров и др., 2003; Немова, Высоцкая, 2004; Морозов, Высоцкая, 2007; Мещерякова и др., 2010]. В качестве объектов исследования используют рыб, поскольку они часто являются конечными звеньями трофических цепей водных экосистем, что позволяет получить полную картину изменений, произошедших на всех предыдущих уровнях [Кашулин и др., 1999]. В проведенных ранее исследованиях было показано, что на клеточном уровне высокую чувствительность к промышленным поллютантам проявляют особые внутриклеточные органеллы – лизосомы [Versteeg, Giesy, 1985; Köhler, 1991; Baba et al., 1997; Высоцкая, Немова, 2008]. Широкий комплекс лизосомальных гидролаз активно участвует в адаптивных перестройках организма гидробионтов к меняющимся условиям среды, в том числе к ее минеральному составу [Немова, Высоцкая, 2004; Такшеев, 2005; Вдовиченко, Высоцкая, 2012; Биота..., 2012]. Данная работа продолжает этот ряд наблюдений. Целью настоящего исследования являлось изучение активности лизосомальных ферментов у рыб, обитающих в водоемах озерно-речной системы р. Кенти, в разной степени подвергающихся трансформации под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОК.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования была выбрана плотва *Rutilus rutilus* L. – типичный представитель массовых видов рыб Костомукшского хвостохранилища и нижележащего озера Койвас. Для сравнения были взяты

рыбы того же вида из чистого озера Каменное, расположенного на территории заповедника «Костомукшский» и не подвергающегося антропогенному воздействию. На момент исследований минерализация воды в оз. Каменное составляла 11,5–24,1 мг/л, по ионному составу она относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу, имеет слабокислую реакцию (рН 5,8–6,9) [Биота..., 2012]. Взятые для биохимического анализа рыбы имели следующие характеристики: самки плотвы из хвостохранилища были четвертой стадии зрелости гонад, возраста 4–5 лет; из оз. Каменное и оз. Койвас – второй стадии зрелости гонад, возраста 8–9 лет.

Органы рыб (печень, гонады, жабры, мышцы) извлекали сразу же после вылова и хранили при температуре –80 °С до начала анализа. 10%-е гомогенаты готовили на 0,25 М растворе сахарозы с добавлением ЭДТА и неионного детергента – 0,1%-го раствора тритона X-100, затем центрифугировали при 10 000 g и температуре +4 °С в течение 30 мин. В полученном супернатанте определяли активность лизосомальных ферментов и содержание белка.

Активность лизосомальных гликозидаз – β-глюкозидазы (КФ 3.2.1.21) и β-галактозидазы (КФ 3.2.1.23) определяли по методам А. А. Покровского и др. [1971] и Баррета и Хита [1980]. В качестве субстратов использовали растворы п-нитрофенил-β, D-глюкопиранозиды и п-нитрофенил-β, D-галактопиранозиды на цитратном буфере (рН 5,0 и 4,0, соответствующий рН оптимуму исследованных ферментов). Активность обеих гликозидаз выражали в микромолях п-нитрофенола, освобожденного в условиях реакции за единицу времени.

Определение активности кислых нуклеаз – РНКазы (КФ 3.1.4.23) и ДНКазы (КФ 3.1.4.6) проводили по методам А. П. Левицкого и др. [1973] и А. А. Покровского с соавт. [Покровский, Арчаков, 1968]. В качестве субстратов использовали 0,1%-е растворы РНК и ДНК на ацетатном буфере (рН 5,2 и 5,0 соответственно). Активность ферментов выражали в условных единицах  $D_{260}^*$ .

Активность кислой фосфатазы (КФ 3.1.3.2) определяли по методу Баррета и Хита [1980]. Субстратом служил 1%-й раствор β-глицерофосфата натрия на ацетатном буфере (рН 4,8). Активность фермента выражали в микрограммах фосфора неорганического [Kahovcova, Odavic, 1969], освобожденного в условиях реакции за единицу времени. Расчет активности ферментов производили на 1 г сырого веса

ткани в минуту и на 1 мг белка. Содержание белка в пробах определяли по методу Лоури [Биохимические методы..., 1969].

Полученные результаты обрабатывали общепринятыми методами статистики, оценивая достоверность различий по непараметрическому критерию *U* Вилкоксона–Манна–Уитни при уровне значимости  $p \leq 0,05$  [Гублер, Генкин, 1969].

## Результаты

О степени участия лизосомального аппарата в адаптивных реакциях плотвы к минеральному загрязнению можно судить по данным, представленным на рисунке 1. В печени, жабрах и мышцах активность кислой фосфатазы – фермента-маркера лизосом у рыб из оз. Койвас, была ниже, чем у рыб из хвостохранилища. Следует указать, что в обоих водоемах, загрязняемых техногенными водами железорудного производства, активность кислой фосфатазы была значительно ниже, чем у рыб из чистого озера.

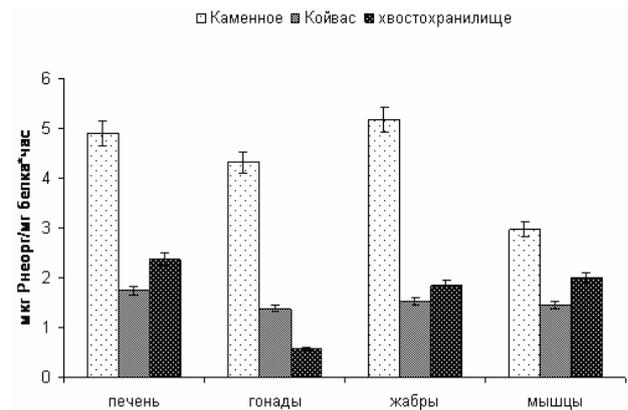


Рис. 1. Активность кислой фосфатазы в органах плотвы из оз. Каменное, оз. Койвас и хвостохранилища Костомукшского ГОК (n = 4–5)

Данные по активности лизосомальных нуклеаз показывают, что происходит увеличение активности РНКазы во всех органах, кроме гонад, у особей из водоемов, подвергающихся воздействию техногенных вод Костомукшского ГОК. Активность же ДНКазы выше во всех органах плотвы из хвостохранилища (рис. 2).

По содержанию белка в органах плотвы из этих водоемов различия были незначительными, за исключением гонад: у плотвы из хвостохранилища его уровень был на 56 % выше, чем у рыб из оз. Койвас (рис. 3).

Очень интересным, на наш взгляд, является изменение активности лизосомальных глико-

зидаз. Отмечено повышение уровня активности  $\beta$ -глюкозидазы во всех органах плотвы из оз. Койвас и Костомукшского хвостохранилища по сравнению с особями, обитающими в не загрязняемом техногенными водами комбината оз. Каменное. В отличие от  $\beta$ -глюкозидазы активность  $\beta$ -галактозидазы практически во всех органах плотвы из оз. Койвас и хвостохранилища была ниже, чем у особей, обитающих в чистом озере (рис. 4).

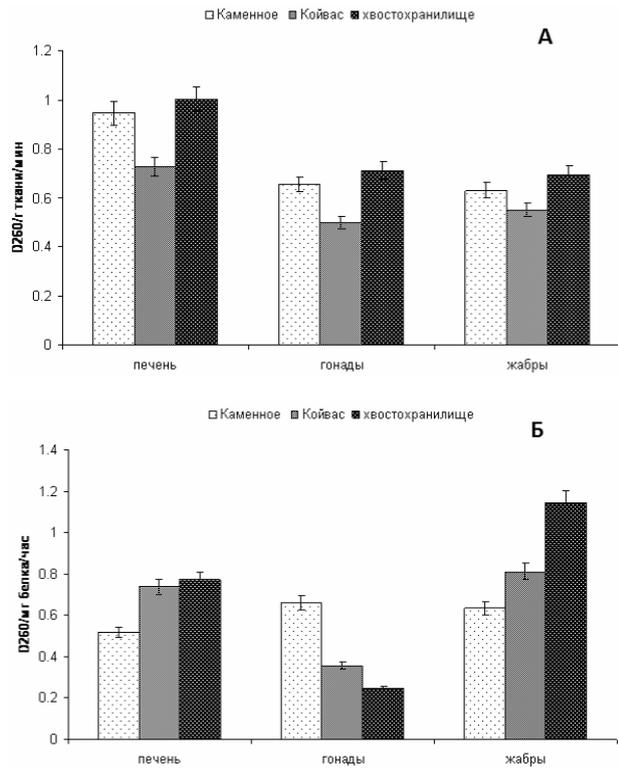


Рис. 2. Активность лизосомальных нуклеаз в органах плотвы из озер с разной степенью антропогенной нагрузки (А – ДНКаза, Б – РНКаза)

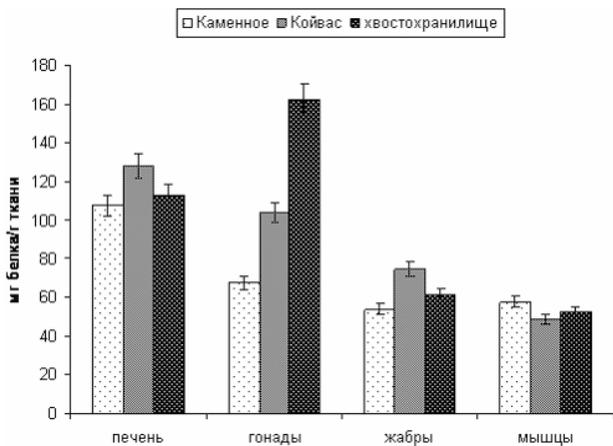


Рис. 3. Содержание белка в органах плотвы из оз. Каменное, оз. Койвас и хвостохранилища Костомукшского ГОК

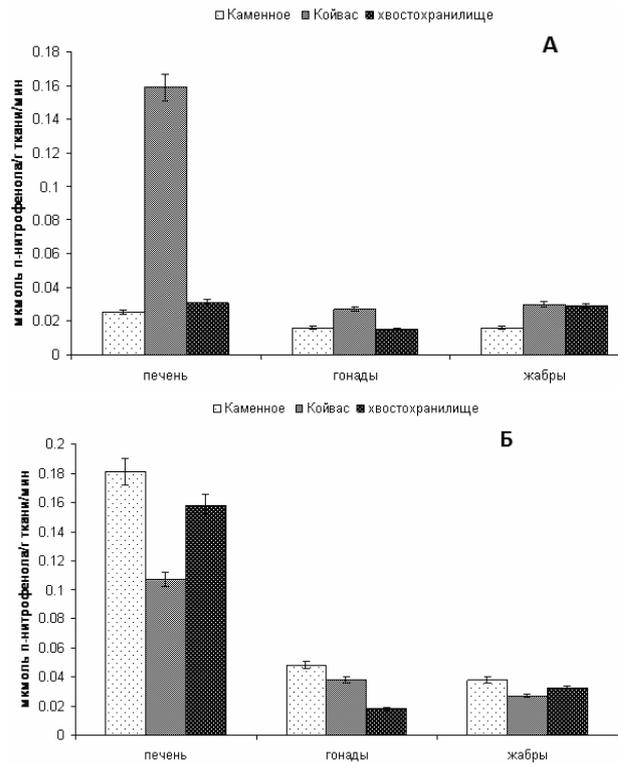


Рис. 4. Активность лизосомальных гликозидаз плотвы, обитающей в водоемах с разным уровнем минерального загрязнения (А –  $\beta$ -глюкозидаза, Б –  $\beta$ -галактозидаза)

### Обсуждение результатов

Полученные данные показывают, что лизосомальные ферменты проявляют различную реакцию по отношению к минеральному загрязнению, которая зависит от интенсивности и состава загрязнения. Наиболее значительные изменения в активности лизосомальных ферментов отмечены в печени и жабрах. Именно в печени происходят основные биосинтетические процессы, в том числе выработка белков и ферментов, позволяющих рыбам приспособиться к жизни в условиях постоянной интоксикации [Немова, Высоцкая, 2004]. Высокий уровень активности ферментов в жабрах объясняется тем, что у рыб, в отличие от высших позвоночных, в регуляции калия большая роль отводится жаберному аппарату [Романенко, 1994]. Наличие в среде обитания рыб высоких концентраций калия вызывает активацию работы органа.

Вода хвостохранилища, в которой по сравнению с природным фоном во много раз превышено содержание калия, сульфатов, гидрокарбонатов и других компонентов, является остро токсичной для беспозвоночных и некоторых видов рыб [Сидоров и др., 2003; Такшеев, 2005; Калинкина, 2010]. В ходе специально поставленных экспериментов было установлено, что

токсичным компонентом являются соли калия, особенно для ранних эмбрионов и личинок рыб [Высоцкая и др., 2000]. Важное значение имеют наличие взвеси и щелочная реакция вод хвостохранилища. Даже разбавленная вода хвостохранилища оказалась остро токсичной для окуни. Активность лизосомальных гидролаз в органах этих рыб была резко снижена, следствием чего стала угнетенность всех катаболических процессов, исключалась возможность использования внутренних резервов на экстренные энергетические и пластические нужды [Такшеев, 2005]. Похожая реакция наблюдалась у плотвы в настоящем исследовании, если судить по активности кислой фосфатазы в органах рыб из загрязненных водоемов. Однако снижение активности лизосомального аппарата у плотвы зависело от интенсивности и состава загрязнения. Более высокая активность ферментов у рыб из хвостохранилища, по сравнению с аналогичными показателями у рыб из оз. Койвас, свидетельствует о том, что плотва сумела приспособиться к данному минеральному загрязнению и у нее наблюдаются сдвиги в активности ферментов, позволяющие мобилизовать защитные силы организма, использовать внутренние ресурсы для обеспечения процессов жизнедеятельности в неблагоприятной среде.

Сравнение изученных биохимических показателей в органах самок плотвы из оз. Койвас и хвостохранилища Костомукшского ГОК свидетельствует о том, что адаптивные сдвиги метаболизма у рыб в нижних озерах системы Кенти – Кенто носят менее напряженный характер, чем в хвостохранилище. Содержание белка изменяется незначительно, однако у особей из оз. Койвас его уровень был немного выше в печени и жабрах, чем у плотвы из хвостохранилища. Это обстоятельство подтверждает, что в оз. Койвас условия обитания более благоприятны, чем в хвостохранилище. Однако в гонадах отмечен более высокий уровень содержания белка, что можно связать с разной стадией зрелости гонад особей. В хвостохранилище в условиях хронического загрязнения плотва созревает раньше, и на момент сбора ее гонады были на IV стадии зрелости, в то время как у плотвы из оз. Койвас и чистого оз. Каменное – на II стадии.

Активность кислой фосфатазы была выше во всех органах плотвы (за исключением гонад) из хвостохранилища по сравнению с особями из оз. Койвас, однако значения активности у особей из обоих водоемов были более низкими по сравнению с рыбами из оз. Каменное. Увеличение активности нуклеаз свидетельствует о мобилизации защитных функций организма в условиях хронического загрязнения водоема. Данное об-

стоятельство подтверждает, что и в том, и в другом водоеме стратегия биохимической адаптации сходная, т. е. происходит угнетение активности кислой фосфатазы – фермента маркера лизосом [Gu et al., 2006], а также процесса биосинтеза белка, о чем свидетельствует более низкая активность нуклеаз по сравнению с аналогичным показателем у рыб из чистого озера.

Особенностью реакции лизосомальных гликозидаз на данный тип минерального загрязнения является более высокая активность  $\beta$ -глюкозидазы во всех органах плотвы из оз. Койвас и хвостохранилища, а  $\beta$ -галактозидазы – более низкая по сравнению с таковой у рыб, обитающих в незагрязненном оз. Каменное. Это позволяет заключить, что наибольший вклад в адаптивные реакции плотвы вносит  $\beta$ -глюкозидаза за счет вовлечения содержащих глюкозу компонентов в обеспечение организма энергией. Как известно, воздействие неблагоприятных условий на рыб и других гидробионтов приводит к преобладанию гликолитических процессов. Отмечено значительное повышение активности  $\beta$ -глюкозидазы в печени у плотвы из оз. Койвас, что, возможно, является адаптивной реакцией на данный тип минерального загрязнения. Это подтверждается наблюдениями, что у рыб из хвостохранилища происходит снижение ферментов аэробного метаболизма в печени и переключение на альтернативные источники обеспечения организма энергией [Чурова и др., 2011]. В то же время в ранее опубликованных работах было показано, что у щук большой вклад в адаптивные реакции вносит другая лизосомальная гликозидаза –  $\beta$ -галактозидаза, и это говорит о разных механизмах биохимической адаптации у данных видов [Вдовиченко, Высоцкая, 2013]. Лизосомальные ферменты, участвующие в обмене углеводов, обладают широкой субстратной специфичностью и кроме реакций гидролиза могут участвовать в процессах трансгликозилирования [Winchester, 2005; Husain, 2010; Наумов, 2011], т. е. осуществляют не только катаболизм углеводсодержащих компонентов, но и включаются в метаболизм за счет синтеза регуляторных гликолипидов и протеогликанов. Это делает гликозидазы универсальным инструментом биохимической адаптации. Вероятно, активацию разных гликозидаз у плотвы и щуки можно связать с различиями в образе жизни, в том числе с типом питания указанных видов [Атлас..., 2002]. Плотва является эврифагом, ее рацион довольно разнообразен и зависит от времени года. В летний период плотва питается в основном кормом растительного происхождения, а также мелкими личинками

и водными насекомыми. Щука же – типичный хищник, в ее питании в хвостохранилище преобладает плотва [Биота..., 2012].

## Заключение

Проведенные исследования показали, что в процессах адаптации рыб к загрязнению техногенными водами железорудного производства активное участие принимает лизосомальный аппарат печени и жабр.

Особенностью адаптивных реакций плотвы в условиях минерального загрязнения с преобладанием ионов калия является переключение метаболизма на альтернативные источники обеспечения энергией. Важная роль при этом принадлежит лизосомальной  $\beta$ -глюкозидазе.

Выявлена зависимость ответных адаптивных реакций плотвы от интенсивности загрязнения и состава техногенных вод комбината. В нижних водоемах озерно-речной системы Кенти–Кенто, где загрязнение техногенными водами не достигло критических значений, механизмы биохимических адаптаций рыб сходны с теми, что наблюдаются в хвостохранилище Костомукшского ГОК, но носят менее напряженный характер.

*Работа выполнена на приборно-аналитической базе Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН при поддержке Программы Президента РФ «Ведущие научные школы РФ» НШ-1642.2012.4 и НШ-1410.2014.4, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы» № 28 (подпрограмма 2) на 2012–2014 гг., ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (г. к. № 14.740.11.1034), гранта Министерства образования и науки РФ, соглашение № 8594.*

## Литература

Атлас пресноводных рыб России. В двух томах. Т. 1 / Под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2002.

Баррет А. Дж., Хит Ф. М. Лизосомальные ферменты // Лизосомы. Методы исследования. М.: Мир, 1980. С. 25–156.

Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 230 с.

Биохимические методы исследования в клинике / Под ред. А. А. Покровского. М.: Медицина, 1969. 652 с.

Вдовиченко Е. А., Высоцкая Р. У. Роль лизосомальных гликозидаз в адаптивных реакциях рыб при загрязнении вод отходами железорудного производства // Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптации гидробионтов: материалы. Всерос. конф. с междунар. участием. Борок: ИБВВ, 2012. С. 66–68.

Вдовиченко Е. А., Высоцкая Р. У. Сравнительная характеристика активности лизосомальных гликозидаз у щук, обитающих в водоемах с разным уровнем антропогенной нагрузки // Фундаментальные исследования. 2013. № 4 (часть 5). С. 1134–1138.

Высоцкая Р. У., Немова Н. Н. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука, 2008. 284 с.

Высоцкая Р. У., Каймина Н. В., Сидоров В. С. Влияние различных солей калия на активность некоторых ферментов развивающейся икры радужной форели // Гидробиол. журн. 2000. Т. 36, № 6. С. 82–91.

Гублер Е. В., Генкин А. А. Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях. М.: Медицина, 1969. 29 с.

Калинкина Н. М. Использование тест-объекта *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg при тестировании техногенных вод горнорудного производства // Водная среда: обучение для устойчивого развития. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 48–52.

Кашулин Н. А., Лукин А. А., Амундсен П. П. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1999. 142 с.

Левицкий А. П., Барабаш Р. Д., Коновец В. М. Сезонные особенности активности рибонуклеазы и  $\alpha$ -амилазы слюны и слюнных желез у крыс линии Вистар // Биохимическая эволюция. Л.: Наука, 1973. С. 192–195.

Лозовик П. А., Куликова Т. П., Мартынова Н. Н. Мониторинг водных объектов Республики Карелия в 1992–2000 гг. // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 135–144.

Мещерякова О. В., Чурова М. В., Немова Н. Н. Изменение активности некоторых митохондриальных ферментов органов рыб при антропогенной нагрузке // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: материалы III междунар. конф. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2010. С. 116–117.

Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.

Морозов Д. Н., Высоцкая Р. У. Сравнительное изучение желчно-кислотного состава желчи европейской ряпушки *Coregonus albula* и сига *Coregonus lavaretus* в условиях техногенного загрязнения водоема // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2007. Т. 43, № 5. С. 410–413.

Наумов Д. Г. Иерархическая классификация гликозил-гидролаз // Биохимия. 2011. Т. 76, вып. 6. С. 764–780.

Немова Н. Н., Высоцкая Р. У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 215 с.

Покровский А. А., Арчаков А. И. Методы разделения и ферментной идентификации субклеточных фракций // Современные методы в биохимии. М.: Медицина, 1968. С. 5–59.

Покровский А. А., Кравченко Л. В., Тутельян В. А. Исследование активности ферментов лизосом при действии афлатоксина и митомицина С // Биохимия. 1971. Т. 36, вып. 4. С. 690–696.

Романенко В. Д. Метаболизм калия у пресноводных рыб // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, № 5. С. 63–69.

Сидоров В. С., Немова Н. Н., Высоцкая Р. У., Такшеев С. А. Вариабельность интегрального биохимического индекса у рыб под влиянием техногенных вод горно-обогатительного комбината // Экология. 2003. № 4. С. 280–285.

Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 210 с.

Такшеев С. А. Состояние рыбной части сообщества Костомукшского хвостохранилища и его оценка биохимическими методами: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 23 с.

Чурова М. В., Мещерякова О. В., Ильмаст Н. В., Немова Н. Н. Оценка состояния сигов *Coregonus lavaretus* L., обитающих в хвостохранилище горно-обогатительного комбината, по некоторым биохимическим и молекулярно-генетическим показателям // Труды КарНЦ РАН. Сер. Экспериментальная биология. 2011. № 3. С. 137–145.

Baba M., Osumi M., Scott S. V., Klionsky D. J., Osumi Y. Two distinct pathways for targeting proteins

from the cytoplasm to the vacuole/lysosome // J. Cell. Biol. 1997. Vol. 139, N 7. P. 1687–1695.

Gu J., Lingyu L., Yu L., Liping X., Rongqing Z. Purification and partial characterization of two acid phosphatase forms from pearl oyster (*Pinctada fucata*) // Compar. Biochem. Physiol. B. 2006. Vol. 143. P. 229–235.

Husain Q.  $\beta$ -galactosidases and their potential applications: a review // Critical Reviews in Biotechnology. 2010. Vol. 30(1). P. 41–62.

Kahovcova J., Odavic R. A simple method of the quantitative analysis of phospholipids separated by thin layer chromatography // J. Chromatogr. 1969. Vol. 40, N 1. P. 90–96.

Köhler A. Lysosomal perturbations in fish liver as indicators of toxic effects of environmental pollution // Compar. Biochem. Physiol. C. 1991. Vol. 100, N 1–2. P. 123–127.

Versteeg D. J., Giesy J. P. Lysosomal enzyme release in the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirochirus* Rafinesque) exposed to cadmium // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1985. Vol. 14. P. 631–640.

Winchester B. Lysosomal metabolism of glycoproteins // Glycobiology. 2005. Vol. 15, N 6. P. 1R–15R.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Вдовиченко Елизавета Андреевна**

аспирант  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: elizaveta.vdovichenko@gmail.com  
тел.: (8142) 769810

### **Высоцкая Римма Ульяновна**

главный научный сотрудник, д. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: rimma@bio.krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 769810

### **Vdovichenko, Elizaveta**

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: elizaveta.vdovichenko@gmail.com  
tel.: (8142) 769810

### **Vysotskaya, Rimma**

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: rimma@bio.krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 769810