

В.Ф. Коваленко, И.А. Злацкий, В.В. Гончарук

**АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ГИДРОБИОНТОВ К ВОДНОЙ СРЕДЕ С РАЗНЫМИ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Институт коллоидной химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев
zlatskiy@ukr.net

Исследованы причины и физиолого-биохимические механизмы миграции морских видов гидробионтов в пресные воды реки Днепр и каскада ее водохранилищ. Возможность адаптации морских видов рыб и беспозвоночных связывают с хозяйственной деятельностью человека – зарегулированием речного стока, созданием каскада водохранилищ с большой площадью водной поверхности, антропогенным загрязнением природных вод, а также с изменением климатических условий на Земле (глобальное потепление). Предполагается, что эти процессы приводят к заметному изменению физико-химических показателей водной среды. Наблюдается рост минерализации, увеличение количества биогенных соединений, изменение их соотношения в пресной воде, что, в свою очередь, позволяет морским видам гидробионтов адаптироваться к новым условиям и продвигаться вверх по течению реки.

Ключевые слова: адаптация, морские гидробионты, пресная водная среда, причины и последствия миграции.

Введение. Экологические процессы, связанные с вселением в пресноводные экосистемы чужеродных морских видов и последующим воздействием на сообщества, называют биологическими инвазиями. Их результатом часто становится снижение общего видового разнообразия: вселенцы или просто уничтожают местных обитателей, или подавляют и вытесняют их в процессе конкуренции. Иногда общее число видов в сообществе уменьшается незначительно, но сам список обитающих в том или ином месте видов меняется коренным образом [1].

Миграции видов и их вселение в новые места обитания могут происходить в результате естественных причин – постепенного расши-

рения ареала, связанного с освоением новых участков, колебаниями численности и климатическими изменениями. Причины биологических инвазий тесно связаны с хозяйственной деятельностью человека, а их последствия обычно оказываются гораздо более выраженными [2]. Характер такого влияния также может быть различным. Часто в результате человеческой деятельности происходит существенное изменение абиотических факторов среды, в том числе и гидрологических характеристик водоемов, позволяющее тем или иным видам расселяться в районы, условия которых ранее не позволяли им там выживать. Например, к концу XX столетия только во внутренних морях стран постсоветского пространства и сопредельных стран, а также в каскадах водохранилищ на крупных реках было обнаружено более 150 видов беспозвоночных, которые раньше в этих экосистемах не обитали. Среди рыб, встречающихся сейчас в пресных водах Украины и России (около 380 видов, относящихся к 150 родам, 38 семействам и 14 отрядам), примерно треть, т.е. около 120 видов, к настоящему моменту обнаруживается вне пределов их исторических ареалов [3 – 5].

Наиболее интересными, с научной точки зрения, можно считать примеры переселения гидробионтов из моря в реки. За последнее время в пресной воде Днепра и его водохранилищ был замечен ряд обитателей морей и океанов.

Колюшка девятиглая (*Pungitius pungitius*). Ареал обитания – северная часть Атлантического и Тихого океанов. Ранее обитала в низовьях Днепра, но сегодня встречается и в Киевском водохранилище. Рыба известна нетипичным поведением самцов: они строят и охраняют гнезда, в которых зреют икринки.

Тюлька (*Clupeonella cultriventris*). Ареал обитания: Азовское и Черное моря. Попала из низовьев Днепра и из Черного моря. За 15 – 20 лет освоила весь каскад днепровских водохранилищ, вытеснив другие мелкие пресноводные виды рыб.

Рыба-игла пухлощекая (*Syngnathus abaster*). Ареал обитания: Черное и Азовское моря. У этих рыб самка лишь откладывает яйца. Потомство вынашивает самец: либо открыто на нижней стороне собственного тела, либо в специальной выводковой камере, образованной двумя кожными складками. С постройкой водохранилищ течение в Днепре ослабело, создав для рыбы-иглы благоприятные условия обитания.

Сельдь черноморско-азовская (*Alosa pontica*). Ареал обитания: бассейн Черного и Азовского морей. Раньше считалась исключительно морской рыбой. В нижнем Днепре появилась в 1960-х гг.

Мохнаторукий краб (*Eriocheir sinensis*). Ареал обитания: опресненные участки морей и устья рек Северо-Восточного Сахалина, Гонконга и Тайваня. В 2002 г. был пойман в Днепровском водохранилище в районе с. Башмачка на глубине 10 м, а в январе 2003 г. еще один экземпляр краба был пойман в Каховском водохранилище. Известно, что этот вид краба своими норами повреждает оросительные каналы, плотины, другие гидротехнические сооружения. К примеру, мохнаторукий краб обитает в норах, которые роет в твердых берегах. И они рушатся, если таких гнезд становится много. Этот краб уже повредил дамбы в Голландии и береговые склоны в устье р. Рейн. В Украине он может облюбовать Каневское и Каховское водохранилища [6].

Переселение такого множества водных животных связаны с несколькими факторами. С тех пор как Днепр был зарегулирован, проточная река превратилась в каскад водохранилищ, ее режим стал напоминать условия лиманных (приморских) водных систем. Изменились скорость течения, минерализация и химический состав воды, ее цветность. Днепр стал доступен для миграции лиманных и морских видов животных, способных обитать при разных показателях солености и минерализации воды. Так, если до сооружения плотин течение в Днепре проходило от Киева до Херсона за неделю, то в настоящее время — за год. Застаиваясь в водохранилищах, вода солонее: в рукотворные моря впадает много речек, которые несут в себе минералы солончаковых почв. Кроме того, в водоемы сбрасывают шахтные воды с высоким содержанием соли [7 – 9].

В середине прошлого столетия в днепровские водохранилища и их придаточную систему мигрировали и адаптировались более 50 новых видов водных животных (рис. 1). "Заполонил" водохранилища и реки-притоки моллюск дрейссена, появились новые виды рачков-бокоплавов, отмечена азово-черноморская тюлька. Именно в это время (к началу 1960-х гг.) появляется в Днепре и сельдь черноморско-азовская, заселившая Каховское и Днепровское (Запорожское) водохранилища и прекрасно чувствующая себя в пресных водах и в настоящее время [4].

В 1970-е гг. происходит вторая "волна" расселения видов по каскаду днепровских водохранилищ. Только в Днепровском (Запорожском) водохранилище транзитом из Каховского появляются берш, бычок-гонец, колюшка трехиглая. Спустя несколько лет эти виды начинают отмечаться и в Днепродзержинском водохранилище [10].

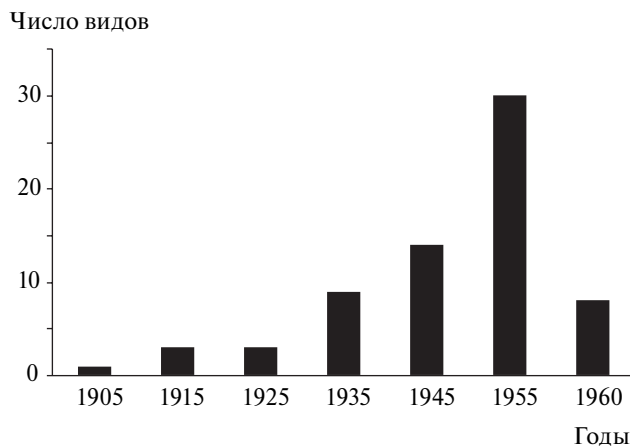


Рис. 1. Хронология проникновения чужеродных видов в водные системы Украины [1].

В 1980 – 90-е гг. в Днепр проникают калинка, "любимая" рыба хищников Черного моря – атерина черноморская (*Atherino boyeri pontica*), бычок кнут (мартовик) (*Mesogobius batrachocephalus*) – самый большой черноморско-азовский бычок, достигающий длины до 50 см и массы 850 г. В 2003 г. ихтиологи Днепропетровского национального университета отмечают в Днепровском водохранилище еще один морской вид – бычок-пуголовочка Браунера (*Benthophilus macrocephalus*) [6].

Нужно отметить, что проблеме биологических инвазий в зарубежных странах посвящены отдельные решения Конгресса (1990) и Указ Президента США (1999 г.). Количество научных работ по проблеме чужеродных видов и их инвазий в США, Германии, Голландии, Франции за последние три – четыре года достигло 140 – 160 в год. В Украине число подобных работ по всем направлениям расселения видов (как животных, так и растений) не превышает 10 – 15 в год [2].

Фенотип рыб, переселяющихся из морских вод в пресные, претерпевает определенные изменения. Как правило, они в среднем имеют меньшие размеры и изменения окраски тела. В биологии фенотип – совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его онтогенеза. Складывается в результате взаимодействия наследственных свойств организма – генотипа и условий среды обитания. Таким образом, изменения фенотипа вида можно рассматривать как приспособление, адаптацию к измененным условиям водной среды. А такая возможность обуславливается генотипом вида и направлена на выживание и расширение ареалов обитания. Генотип живых орга-

низмов представлен совокупностью генов, определяющих его потенциальную способность к фенотипическому выражению записанной в них информации в виде определенных признаков. Условия окружающей среды способствуют проявлению (экспрессии) генов или, наоборот, подавляют их функциональную активность, выраженную в образовании определенных физиолого-биохимических процессов.

Следует отметить, что миграция и расселение чужеродных видов обычно отрицательно сказывается на аборигенных сообществах и приводит к сокращению разнообразия их флоры и фауны. По мнению ряда специалистов [3, 11], биологические инвазии являются второй по значению (после разрушения мест обитания) угрозой естественным экосистемам, а также устойчивости биологических ресурсов и здоровью людей.

Многие семейства рыб состоят одновременно из пресноводных и морских рыб. К таким видам рыб относятся: жабья рыба, рыба-серп, осетр, сельдь, анчоус, лосось, форель, щука, бычки, рыба-присоска, колюшка, рыба-скорпион, камбала и некоторые другие. Большинство существующих сегодня видов рыб способны выживать как в пресной, так и соленой водах. Поэтому можно утверждать, что способность адаптироваться к таким водам была заложена у рыб на ранних стадиях эволюции. Многие эвригалинные виды рыб способны приспосабливаться и к пресной и морской водам всего лишь за одно поколение [12, 13].

Совокупность физиолого-биохимических реакций обеспечивает приспособление (или адаптацию) организма к изменению окружающих условий и отвечает за сохранение относительного постоянства его внутренней среды – гомеостаза. Постоянство внутренней среды организма – это вовсе не совокупность неподвижных констант. Показатели гомеостаза, во-первых, имеют норму реакции, а во-вторых, находятся в динамическом равновесном состоянии с колебаниями параметров внешней среды. Эти два фактора определяют саму возможность существования организма в водной среде, которая является для него достаточно агрессивной – способность противостоять ей, и стремиться к равновесию с нею. Адаптация – это и лицевая, и обратная стороны гомеостаза, поскольку может быть оптимальной, неоптимальной и даже вредной – вызывающей нарушение жизнедеятельности [14 – 17].

Физиологический смысл приспособления организма к внешним и внутренним воздействиям заключается именно в поддержании гомеостаза и, соответственно, жизнеспособности организма практически в любых условиях, на которые он в состоянии адекватно реагировать.

Таким образом, функциональные системы организма работают как саморегулируемые уровни нервной и гуморальной систем, действие которых направлено на достижение определенных, полезных для организма, приспособительных результатов. Ведущая роль в этой саморегуляции принадлежит так называемой обратной связи. Она совершает, может быть, самое главное с точки зрения выживания (адаптации): сигнализирует центру о результатах совершенного действия в ответ на какой-либо внешний (или внутренний) раздражитель. Ведь для экономии своих действий (т. е. выбора наиболее правильного, наиболее действенного решения) центр обязан знать о результате недавно отданного им приказа. Обратная связь – как механизм сугубо приспособительный – возник на заре развития органической жизни, а далее оказался закреплен в ходе эволюции, ибо был необходим для выживания [18 – 20].

Любой организм, независимо от уровня организации, представляет собой систему, осуществляющую активный поиск наиболее оптимального и наиболее устойчивого состояния [21 – 23]. Этот поиск и приводит к адаптации, т. е. к поддержанию переменных показателей организма в физиологических границах, несмотря на изменение обычных условий существования. Само представление о гомеостазе не соответствует концепции устойчивого равновесия в организме. Неправильно также и противопоставление гомеостаза ритмическим колебаниям во внутренней среде. Гомеостаз в широком понимании охватывает вопросы циклического и фазового течения реакций: компенсации, регулирования и саморегулирования физиологических функций, динамику взаимозависимости нервных, гуморальных и других компонентов регуляторных процессов [24, 25]. В экстремальных ситуациях изменение скоростей биологических реакций возрастает в десятки и сотни раз [26, 27].

На рис. 2 показаны пути протекания адаптационных процессов у морских гидробионтов, которые мигрируют в пресные воды рек.

В зависимости от концентрации химических веществ и продолжительности их воздействия на организм, включая внутренние адаптационно-компенсаторные механизмы и затрачивая энергию, может или адаптироваться к измененным условиям водной среды, или перейти в патологическую стадию, которая приводит к его гибели [28].

Ответные комплексные реакции организма водных животных на изменение внешних условий характеризуются, прежде всего, автоматизмом. Важная роль в приспособлении принадлежит центральной нервной системе – основной регулирующей системе организма. В

осуществлении адаптивных функций определенную роль играют все системы организма, при этом головной мозг является высшим координаторным центром адапционных действий [29, 30].

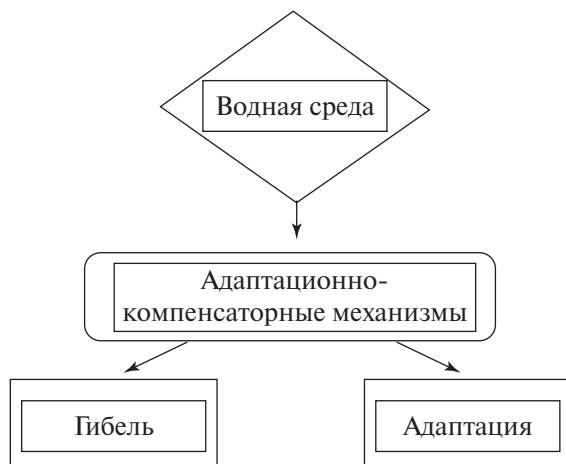


Рис. 2. Блок-схема протекания адапционных процессов у гидробионтов при изменении физико-химических параметров водной среды.

Имеется довольно обширная группа водоемов, где пресные и морские воды широко смешиваются, образуя солоновато-водные массы. Это, в частности: практически изолированные от океана моря (Черное и Балтийское), приустьевые зоны впадающих в моря рек (эстуарии), отделившиеся от морей заливы (лиманы) и крупные озера морского происхождения (Каспий и Арал). Соленость в данных случаях может быть различной [13]. Кроме того, ситуация осложняется общей нестабильностью солености, широко изменяющейся вдоль нескольких осей: в масштабе геологического времени (обычно в масштабах тысячелетий очертания и гидрология всех вышеописанных типов водоемов меняются, а с ними и соленость), в пространстве (соленость постепенно возрастает от мест впадения в водоем рек до мест сообщения с морем), по глубине (пресные воды легче морских и при частичном смешении происходит расслоение воды); в масштабе приливно-отливного цикла (в прилив наступает морская вода, и соленость возрастает, в отлив – наоборот). Поэтому почти каждый солоновато-водный водоем (можно для краткости называть их все эстуариями) – очень сложно организованная система с особо распределенной фауной [31]. Следует отметить, что фауна же эта небогата.

Ввиду того, что в геологическом масштабе времени солоновато-водные водоемы существуют обычно недолго, а в пространстве сильно

разобщены, на Земле не сформировалось существенной общей группировки солоновато-водных животных. Тем более отсутствуют специфические семейства и отряды. Наиболее мощные комплексы солоновато-водных видов сформировались в реликтовых соленых озерах — в частности в Каспии, но им трудно расселиться из этих озер [13, 32].

Наиболее характерные группы животных солоноватых вод — это опять же членистоногие и рыбы с высокой способностью к осморегуляции. Моллюски и полихеты существенно отстают от них, а иглокожие и кишечнополостные вообще стеногалинны и в эстуарии не входят.

Отдельный вопрос: кто преобладает в заселении эстуариев — морские или пресноводные виды? Простого ответа не существует. В целом выделяется так называемая граница критической солености (5 — 8‰), ниже которой преобладают виды пресноводного происхождения, а выше — морского. В этом же диапазоне наблюдается минимум суммарного разнообразия фаун. Именно здесь требуется перестройка систем осморегуляции с морского типа на пресноводный, и именно это для животных труднее всего [5].

Важная черта солоновато-водных животных — резко повышенная способность адаптироваться к всевозможной солености. В указанные выше морские и речные объекты их, судя по всему, не пускает жесткая конкуренция морских организмов; зато они постоянно мигрируют в пресные воды, особенно в их нарушенные экосистемы — водохранилища и воды повышенной сапробности [9].

Современное Черное море имеет стабильную соленость $\approx 18\text{‰}$ (соленость мирового океана — 35‰); в нем резко преобладают морские элементы, относительно немного солоновато-водных (понтоткаспийских) и практически нет пресноводных. Оно считается одним из опресненных морей Земли с типично морской фауной. Тем не менее набор морских групп гидробионтов в нем заметно обеднен: практически нет иглокожих, мало полипов, полихет и губок. Преобладает самая эвригалинная группа морских беспозвоночных — высшие ракообразные (в основном бокоплавы, крабы и креветки).

Рыбы имеют хорошо развитые почки, осуществляющие активный транспорт ионов в нужном направлении и обеспечивающие эффективную осморегуляцию. Покровы рыб не очень плотны, зато относительно большие размеры помогают поддерживать стабильный внутренний гомеостаз. Они успешно приспособились и дали большое число как морских, так и пресноводных видов. Некоторые из них обладают уни-

кальной возможностью решать проблему осморегуляции и активно мигрируют из морей в реки и обратно (как лосось), а также заселяют эстуарии (как колюшка и камбала) [14, 31].

Выводы. Таким образом, переселение морских видов организмов в пресные водоемы в основном связано с антропогенными явлениями. Зарегулирование рек, изменение русел искусственным путем, создание оросительных систем и других привело к замедлению течения рек и изменению их физико-химических параметров. Вследствие чего организмы, которые более пластичны к изменению химического состава морей, смогли адаптироваться к жизни в пресных водоемах. Тенденция к инвазии пресных водоемов морскими гидробионтами, по всей видимости, будет продолжаться. Успешно конкурируя и вытесняя аборигенные пресноводные виды, морские виды животных и растений с высокими адаптивными возможностями смогут расширять свой ареал обитания в пресных водоемах.

Резюме. Вивчено причини і фізіолого-біохімічні механізми на прикладах міграції морських видів гідробіонтів в прісній воді річки Дніпро та її каскаду водосховищ. Можливість адаптації морських видів риб і безхребетних пов'язують з господарської діяльності людини – зарегулюванням річкового стоку, створенням каскаду водосховищ з великою площею водної поверхні, антропогенним забрудненням природних вод, а також зі зміною кліматичних умов на Землі (глобальне потепління). Передбачається, що ці процеси призводять до помітних зрушень фізико-хімічних показників водного середовища. Спостерігається зростання мінералізації, збільшення кількості біогенних сполук у прісній воді, що, в свою чергу, дозволяє морським видам гідробіонтів адаптуватися до нових умов і просуватися вгору за течією річки.

V.F. Kovalenko, I.A. Zlatskiy, V.V. Goncharuk

ADAPTIVE CAPABILITIES HYDROBIONTS TO WATER MEDIA WITH DIFFERENT PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS

Summary

On examples of migration of marine species of aquatic organisms in fresh waters of the Dnieper river are considered the causes and physiological and

biochemical mechanisms of this phenomenon. Adaptability of marine fish and invertebrates associated with human activities – the regulation of river flow, creating a cascade of reservoirs with a large water surface area, anthropogenic pollution of natural waters, and with the changing climatic conditions in the world (global warming). It is assumed that these processes lead to significant shifts of physical and chemical parameters of water environment. There is an increase of mineralization, increasing the amount of biogenic compounds in fresh water, which in turn allows the marine species of aquatic organisms to adapt and move up the river.

Список использованной литературы

- [1] *Константинов А.С.* Общая гидробиология. – М.: Высш. шк., 1986. – 471 с.
- [2] *Дегодюк Е.Г., Дегодюк С.Е.* //Эколого-техногенная безопасность Украины. – К.: ЭКМО, 2006. – С. 158 – 160.
- [3] *Зимбалева Л.Н., Сухойван П.Г., Черногоренко М.И. и др.* Беспозвоночные и рыбы Днепра и его водохранилищ / Под ред. Г.И. Щербака. – К. : Наук. думка, 1989. – 248 с.
- [4] *Жадин В.И.* Фауна рек и водохранилищ. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 991 с.
- [5] *Протасов А.А.* Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. – К.: Академперіодика, 2011. – 704 с.
- [6] *Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга.* – М.: Наука, 2007. – 403 с.
- [7] *Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока / Отв. ред. Я.Я. Цееб.* – К.: Наук, думка, 1967. – 387 с.
- [8] *Нахшина Е.П.* Микроэлементы в водохранилищах Днепра. – К.: Наук, думка, 1993. – 160 с.
- [9] *Хильчевский В.К., Ромась Н.И., Ромась И.Н. и др.* Гидролого-гидрохимическая характеристика минимального стока рек бассейна Днепра / Под. ред. В.К. Хильчевского. – К.: Ника-Центр, 2007. – 184 с.
- [10] *Алимов А.Ф.* // Гидробиол. журн. – 1994. – **30**, №3. – С. 285 – 302.
- [11] *Арсан О.М.* Автореф. дис.... доктора биол. наук. – М., 1987. – 37 с.
- [12] *Абакумов В.А.* // Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем. – Л.: Наука, 1987. – С. 51-61.
- [13] *Белокопытин Ю.С.* Энергетический обмен морских рыб – К.: Наук. думка, 1993. – 128 с.

- [14] *Кассиль Г.Н.* Внутренняя среда организма. – М.: Наука, 1983. – 227 с.
- [15] *Ader Robert, Cohen Nicolas, Felten David* // *Lancet*. – 1995. – №345. – Р. 99 – 103.
- [16] *Бородюк Н.Р.* Адаптация. Новое в приспособлении к окружающей среде. – М.: Глобус, 1998. – 88 с.
- [17] *Воробьёв Р.И.* // *Химия и жизнь*. – 2001. – № 2. – С. 44 – 48.
- [18] *Анохин П.К.* Узловые вопросы теории функциональной системы. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
- [19] *Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А.* Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1990. – 224 с.
- [20] *Меерсон Ф.З., Пиенникова М.Г.* Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
- [21] *Хайдарлиу С.Х.* Функциональная биохимия адаптации. – Кишинев, 1984. – 245 с.
- [22] *Северцов А.С.* Теория эволюции. – М.: Гуманитар. изд. центр "ВЛАДОС", 2005. – 380 с.
- [23] *Бородюк Н.Р.* Адаптация. Новое в приспособлении к окружающей среде. – М.: Глобус, 1998. – 88 с.
- [24] *Козинец Г.И., Погорелов В.М.* // *Клин. лаб. диагностика*. – 1988. – № 12. – С. 21 – 32.
- [25] *Gorban A.N., Pokidyшева L.I., Smirnova E.V., Tyukina T.A.* // *Bull. Math. Biol.* – 2011. – 9, N73. – Р. 2013 – 2044.
- [26] *Quick J.C. Spielberg C.D.* // *Int. J. Stress Management*. – 1994. –1, N2. – Р. 144 – 148.
- [27] *Элбакидзе Г.М., Элбакидзе А.Г.* Внутритканевое регулирование клеточной массы и тканевый стресс. – М.: Наука, 2007. – 150 с.
- [28] *Goncharuk V.V., Kovalenko V.F.* // *J. Water Chem. And Technol.* – 2012. – 34, N2. – Р. 103 – 106.
- [29] *Дербенёва Л.М.* // *Химия и жизнь*. – 1999. – № 7. – С. 54 – 57.
- [30] *Гаркави Л.Х.* // Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-на-Дону, 1990. – С. 36 – 63.
- [31] *Озернюк Н.Д.* Механизмы адаптаций. – М.: Наука, 1992. – 123 с.
- [32] *Грубінко В.В.* // *Наук. зап. Тернопіл. держ. пед. ун-ту ім. В.Гнатюка, Сер. Біол.* – 2002. – 16, №4. – С. 36 – 39.

Поступила в редакцию 04.06.2015 г.