

ДИСКУССИЯ ПО КНИГЕ:

Т.Д. Зинченко

Г.С. Розенберг

Гидробиология
20-х годов 20-го века
(ретрохроника)

Тольятти
2022ОТ АВТОРОВ:

УДК 574.5

CC BY-NC 4.0

© Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг; ФНИ «XXI век»

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг*

Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал
Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти (Россия)

* Эл. почта: genarozenberg@yandex.ru

В предлагаемом в качестве основы для научной дискуссии адаптированном варианте одной из глав монографии Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)» рассмотрены некоторые направления развития современной гидробиологии, обсуждены проблемы общей (системной, продукционной, этологической гидробиологии, палеогидробиологии) и частной гидробиологии (санитарной, медицинской, токсикологической, радиологической, сельскохозяйственной, рыбохозяйственной, технической, космической), гидробиологического образования. Отмечена необходимость продолжения процесса ее «экологизации», совершенствования научных основ комплексной эксплуатации водных объектов.

Ключевые слова: проблемы общей (системной, продукционной, этологической) и частной гидробиологии (санитарная, медицинская, токсикологическая, радиологическая, сельскохозяйственная, рыбохозяйственная, техническая, космическая).

MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF HYDROBIOLOGY

Tatyana D. Zinchenko, Gennady S. Rozenberg*

Institute of Ecology of Volga River Basin, Togliatti (Russia)

* E-mail: genarozenberg@yandex.ru

To provide a basis for scientific discussion, the authors of the monography entitled "Hydrobiology in the 20ies of the 20th Century (a Retrochronicle)" present an adapted version of one of its chapters where selected directions in the development of modern hydrobiology are considered, problems in the general (systemic, productive, ethological, and paleological) and special (sanitary, medical, toxicological, radiological, agricultural, fishery, technical, and cosmic) hydrobiology are outlined, and issues of the hydrobiological education are highlighted. The expediency of an «ecologization» of hydrobiology, which will help to develop scientific foundations for the integrated operation of water bodies, is stressed.

Key words: problems of general (systems, production, ethological) and particular hydrobiology (sanitary, medical, toxicological, radiological, agricultural, fishery, technical, space).

Становление гидробиологии всегда было связано с необходимостью создать научные основы комплексной эксплуатации водных объектов. История гидробиологии (см., например, [Винберг, 1975]¹) убеждает, что именно этот путь исследований обеспечивает наиболее плодотворные теоретические и практические достижения. Поэтому совершенно оправданным представляется активное участие гидробиологов в работе гидрологических съездов (особенно в 20-х годах XX века). И здесь ключевыми становятся слова почетного академика Н.М. Книповича [1938, с. 11]: «Как не может быть настоящей гидробиологии без гидрологии, так не может быть вполне научной гидрологии без достаточного учета данных биологии вод».

Весь спектр гидробиологических исследований (по аналогии с большинством других наук) распадается на два блока, один из которых включает *общие направления*, второй – *частные и прикладные вопросы* [Винберг, 1977]. Оба блока находятся в тесном взаимодействии, причем первый разрабатывает теоретические основы, необходимые как для собственного развития, так и для эффективной деятельности второго. В то же время частные (для разного рода водных объектов) и прикладные исследования не только обеспечивают решение разнообразных задач практики, но и стимулируют разработку новых общих (теоретических) проблем. Как отмечается в разделе «История» на сайте Гидробиологического общества (<http://gboran.ru/istoriya/>), на отдельных этапах развития гидробиологии лидирующее положение занимали либо общие, либо прикладные исследования, что было связано с повышением или ослаблением внимания как к гидробиологии в целом, так и к отдельным ее направлениям.

Обобщая как классические работы по общей гидробиологии [Зернов, 1949; Зенкевич, 1951; Яшнов, 1969; Константинов, 1979; Кожова, 1987], так и современные [Алимов, 2000; Заика, 2003; Зданович, Криксунов, 2004; Романенко, 2004; Семерной, 2008; Зилов,

2009; Протасов, 2010а,б; Алимов и др., 2013; Калайда, Хамитова, 2013; Камнев, 2015, 2016а,б, 2017 и многие другие], сформулируем основные проблемы (направления развития) гидробиологии.

Проблемы общей гидробиологии:

- *системная гидробиология* (изучает общие проблемы организации, структуры и динамики гидрэкосистем);
- *продукционная гидробиология* – основа современной гидробиологии [Алимов, 1989, с. 3]; изучает процессы образования продукции органических веществ в водоемах; продукционно-биологические исследования получили прочную основу с распространением методов определения первичной продукции, то есть скорости новообразования органических веществ фитопланктоном, по измерениям интенсивности фотосинтеза, что впервые было сделано Г.Г. Винбергом в 1932 году на оз. Белом; имеет существенное прикладное значение – повышение вылова рыбы, урожая морепродуктов и т. п.;

- *трофологическая гидробиология* – является основой изучения биологической продуктивности водоемов и функционирования гидрэкосистем (изучает пищевые связи, биологическую трансформацию веществ и пр.);

- *энергетическая гидробиология* (изучает потоки энергии и их биологическую трансформацию);

- *этологическая гидробиология* (поведение гидробионтов);

- *палеогидробиология* (исторические [в геологическом масштабе] изменения водных экосистем).

Проблемы частной гидробиологии

Частная гидробиология изучает специфику экологии водных объектов разного типа. Выделяют гидробиологии морей, озер, прудов, болот, временных и пересыхающих водоемов, луж, рек различных типов, ручьев, родников и др.; кроме того, существует гидробиология подземных и пещерных вод, полярных, умеренного пояса, тропических и субтропических водных объектов и пр.

¹ Все работы, процитированные в этой статье по авторам, можно найти в списке литературы нашей монографии [4].

Проблемы прикладной гидробиологии:

- **санитарная гидробиология**, занимающаяся решением проблем чистой воды, биологического самоочищения водоемов; изучает воздействие разных форм загрязнения водоемов на их биоту, разрабатывает методы биологической индикации загрязнения водоемов и оценки его последствий;
 - качество воды;
 - проблема сапробности водоемов;
 - антропогенное эвтрофирование: причины и контроль;
 - загрязнение бытовыми сточными водами;
 - проблема повышения кислотности вод;
 - термофикация;
 - биологическая детоксикация;
 - загрязнение морских вод;
- **медицинская гидробиология** (исследует происхождение и распространение болезней, связанных с водой, в первую очередь – инфекционных); ее подразделом является **гидропаразитология** (разрабатывает методы борьбы с паразитическими животными, обитающими в водоемах, в том числе личиночными стадиями паразитов);
- **токсикологическая гидробиология** или **водная токсикология** (изучает возможность нанесения вреда водным объектам продуктами техногенеза, влияние токсикантов на гидробионты и экосистемные процессы):
 - загрязнение водной среды углеводородами;
 - нефтепродукты;
 - полициклические ароматические соединения;
 - консервативные токсиканты в водных экосистемах;
 - загрязнение вод металлами;
 - синтетические органические вещества;
 - синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ);
- **радиологическая гидробиология** (изучает проблемы, связанные с поступлением в водоемы радионуклидов, влиянием их на гидробионты, накоплением их в трофических цепях);
- **сельскохозяйственная гидробиология** (изучает закономерности формирования водного населения на временно затопленных участках возделывания полуводных культур (например, риса, лотоса и др.), выявляет и оптимизирует пути управления этими процессами в интересах повышения урожайности полей и устойчивости таких водных экосистем);
- **рыбохозяйственная гидробиология** – изучает условия воспроизводства океанических и пресноводных рыб и других водных организмов, разрабатывает подходы к рациональному использованию их запасов, методы прогнозирования и управления их запасами, методы их искусственного разведения в аквакультуре;
- **техническая гидробиология**, изучающая биологиче-

ские явления, представляющие опасность для техники, контактирующей с водой:

- биокоррозия;
- обрастание подводных сооружений;
- зарастание водоемов;
- навигационная гидробиология (исследует водные биологические процессы, препятствующие судоходству);
- **космическая гидробиология** – изучает производственные процессы в замкнутых экосистемах, исследует жизнь гидробионтов в условиях невесомости, возможность обеспечения космонавтов кислородом и пищей за счет культивирования автотрофов в биологических реакторах, является важной составной частью мониторинга гидроэкосистем.

Наверняка этот список можно продолжить (как это принято в экологии) – *химическая гидробиология (биогеохимия), эволюционная гидробиология (экоэволюция), глобальная гидробиология* и др.; можно «разделить» гидробиологию по объектам изучения – *планктонология, бентология* и др.

Такое деление свидетельствует о том, что гидробиология постепенно решает чисто экологические проблемы, все более концентрируя свое внимание на исследовании функциональных особенностей и структуры надорганизменных систем в интересах решения проблем биологического продуцирования и охраны гидросферы. «Уже в начале своего становления гидробиология сразу стала не только и даже не столько описывать отдельных обитателей водной среды, но разделила их на группы по занимаемым местообитаниям: планктон, бентос и т. д. <...> Фактически, гидробиология оказалась первой из комплекса экологических наук, которая родилась как количественная наука. Не случайно большую популярность в то время (конец XIX – начало XX века. – Т.З., Г.Р.) получили идеи о необходимости комплексных исследований всей биоты водоемов, которые велись в лучших традициях описательной биологии. В то же время развитие таких исследований привело к накоплению огромной массы трудно интерпретируемых сведений о численности и биомассе населяющих водоемы организмов» [Алимов и др., 2013, с. 6]. Может быть, именно с этим и связан факт некоторого «забвения» материалов этих Съездов. Сегодня, к сожалению, уменьшение биологического разнообразия и биологических ресурсов гидроэкосистем становится обычным атрибутом современной гидробиологии – во многих регионах эвтрофирование, ацидофикация, вселение чужеродных видов организмов, загрязнение и засоление водоемов входят в число основных экологических проблем. В этой связи привлекательность («аттрактивность») гидробиологических исследований во все времена заключалась, по нашему мнению, в осуществлении настоящей необходимости де-

тального и постоянного изучения механизмов влияния различных антропогенных факторов («биологический мониторинг») на динамику биоразнообразия и биоресурсов экосистем различных водоемов и водотоков в условиях динамичности внешних воздействий.

Попробуем, имея «точку отсчета» (ретрохроника гидрологических съездов 20-х годов XX столетия) и предложенную выше схему основных направлений развития гидробиологии, оценить состояние и спрогнозировать пути совершенствования отечественной гидробиологии (в полном соответствии с М.И. Гладышевым [2020], наметить «траекторию гидробиологии»).

Системная гидробиология. Любая наука в процессе познания окружающего мира и своем развитии проходит, как минимум, три основных этапа. *Первый* – это этап накопления эмпирического знания (описательный, инвентаризационный), *второй* – концептуально-теоретический (формирование списка понятий науки, выдвижение гипотез о структуре и механизмах функционирования описываемых систем), наконец, *третий* – формализация этих представлений на языке математики как раз в рамках системного подхода [Алимов, 2000]. Гидробиология не является исключением из этого общего правила: гидробиолог желает знать, какие гидробиоценозы его окружают, как они устроены и функционируют, как их можно классифицировать, как оценить их границы, как можно описать, оптимизировать и управлять их продуктивностью, на каких принципах создавать искусственные водные экосистемы и пр. Наверное, с определенной долей уверенности можно говорить о том, что первый этап становления гидробиологии завершен (точнее, продвинут дальше всех), второй находится в стадии активной разработки, а вот третий – еще в начале своего пути.

Организационная модель науки в России была оформлена в период до 30-х годов прошлого столетия и ориентирована на потребности индустриализации. В этот период были сформированы ведомственные сети научных организаций (наркоматов земледелия, здравоохранения и т. д.); основными типами научных учреждений стали центральные НИИ, отраслевые институты при вузах, низовые учреждения (заводские лаборатории, опытные станции), региональные институты. Тогда же были созданы две практически изолированные друг от друга системы научных организаций – военная и гражданская. В системе гражданской науки были сформированы академический, вузовский, отраслевой и заводской сектора науки.

Большое число докладов, озвученных на рассмотренных на Первом и Втором гидрологических съездах [Зинченко, Розенберг, 2022], носили системный (теоретический и методический) характер (Г.Ю. Верещагин, Д.А. Ласточкин, В.С. Михин, Б.В. Перфи-

льев, П.Д. Резвой и др.). Обсуждались возможности использования в гидробиологии фитосоциологических представлений («фитосоциологии»), понятия «биоценоз», оригинальные количественные методы учета (в частности, донной фауны), адаптационные возможности, сезонная и разногодичная динамика некоторых популяций гидробионтов и пр.; достаточно тонкое популяционно-генетическое исследование изменчивости улитки *Limnaea stagnalis* L., выполнил 24-летний Ф.Г. Добржанский.

Академический сектор науки (организации АН СССР и отраслевых академий, в дальнейшем – РАН (до 2013 года; после «передачи» академических институтов в систему ФАНО и далее в Минобрнауки об академическом секторе науки, по-видимому, следует забыть...) способствовал развитию комплексных (системных), теоретических знаний, в том числе и в гидробиологии [Винберг, 1960; Алимов, 1990, 2000; Шитиков и др., 2005; Протасов, 2011; Алимов и др., 2013; Богатов, Федоровский, 2017]. Можно назвать такие современные концепции, как развитие представлений о *речном континууме* (начало было положено статьей [Vannote et al., 1980]; см. также [Богатов, 2013]), создание специфической *концепции экологической ниши*, согласно которой популяция каждого вида занимает свое определенное место в гидроэкосистеме [Brave et al., 2011; Peterson et al., 2011; Шитиков и др., 2021], разработка точных представлений о водных экосистемах как о структурах, формирующих поток вещества и энергии как в гидросфере, так и в биосфере в целом [Камнев, 2016а, с. 29], *инвазии гидробионтов* [Экологическая безопасность, 2002; Capdevila-Argüelles, Zilletti, 2005; Дгебуадзе, 2011 и некоторые др.].

Продукционная гидробиология. Вернемся анализу докладов первых съездов гидрологов и гидробиологов, с которого мы начали книгу. Сближение именно этих наук позволяет при изучении континентальных водоемов исследовать значение гидрологического фактора при анализе гидроэкосистем, обогащаясь полученными данными и решая самостоятельно задачи биологического и географического профилей. Напомним, что основная задача гидробиологии состоит в изучении экологических процессов в гидросфере с целью нахождения путей *управления водными экосистемами*, при которых польза от проведенных исследований и принятия решений по их эксплуатации соответствовала бы *рациональному природопользованию*. В этой связи надо понимать, что из конкретных практических задач можно выделить те, которые связаны с повышением биологической продуктивности водоемов, получением из них определенного количества необходимого биологического сырья, с поиском перспективных путей увеличения сырьевой базы промысла водных организмов. При этом совершенствуются методы прогнозирования продуктивности

водоемов и ее повышения за счет направленного изменения условий существования гидробионтов, рационального промысла, создания оптимальных основ ведения аквакультуры.

Уже в 20-х годах прошлого столетия проблемы продукционной гидробиологии занимали одно из ведущих мест. В дальнейшем, при существенном расширении хозяйственной деятельности человека эти исследования стали более комплексными и теоретически более обоснованными. Для повышения биологической продуктивности Каспия Л.А. Зенкевич предложил реконструировать фауну Каспийского моря путем акклиматизации в нем некоторых ценных кормовых беспозвоночных из Азовского моря. В 1936—1938 годах на Черном и Азовском морях проводилось эколого-физиологическое изучение фауны беспозвоночных в целях выбора организмов, наиболее подходящих для акклиматизации. В результате этих исследований для перевозки из Азовского моря в Каспийское были намечены три вида беспозвоночных: два вида многощетинкового червя nereis (*Nereis succinea* и *Nereis diversicolor*) и моллюск синдесмия (*Syndesmia ovata*). Проект был осуществлен в 1939—1941 годах, nereis быстро размножился в Каспийском море и стал любимым кормом осетровых. Первые итоги работы по реконструкции фауны Каспийского моря были опубликованы в работе [Зенкевич и др., 1945]. О культивировании морских гидробионтов см., например, [Душкина, 2008], механизмы управления аквакультурами – [Силкин, Хайлов, 1988].

Трофологическая гидробиология. Термин «трофология» был предложен С.А. Зерновым в 1934 году (см. [Смирнов, 1973, с. 64]). Это направление служит основой для продукционной гидробиологии [Ивлев, 1948, 1955, 1966]. Отметим, что Н.С. Гаевская, которая выступала и на Первом, и на Втором съездах, трофологической гидробиологией занялась, по ее собственному свидетельству, только в 1934 году (см. [Валькова, 2013, с. 98]). В частности, она использовала основные трофические параметры [Гаевская, 1939, 1948] – *кормовой коэффициент, суточный пищевой рацион и индекс избирательной способности* [Чучукало, 2002, с. 562].

Обратим внимание на современные методы исследования питания гидробионтов. Для получения адекватных знаний о механизмах функционирования водных экосистем в современных гидроэкологических исследованиях применение системного подхода, то есть рассмотрения функционирования целостной надорганизменной системы [Гладышев, 1999; Гладышев и др. 1999], является необходимой составляющей с изучением трофометаболических взаимодействий между популяциями водных животных. Применение современных методик исследования питания водных животных устраняют определенные недостатки применяемых ранее методов [Ивлев, 1955; Извекова, 1980,

и др.]. В настоящее время активно развиваются методы, основанные на *применении биохимических маркеров* [Кормилец-Махутова, 2007].

Энергетическая гидробиология. Энергетическое направление изучает энергетический поток в водоемах; биологическую трансформацию энергии (поток энергии «связывает» абиотические и биотические составляющие гидроэкосистем). Функциональные свойства популяций наиболее полно характеризуются особенностями обмена веществом и энергией с окружающей средой. Для осмысления этих явлений как основы продукционного процесса надо знать количество пищи, потребляемое популяцией, интенсивность накопления в ней органических и других веществ, эффективность использования пищи на рост, энергобаланс системы и пр. Во второй половине прошлого столетия после работ В.С. Ивлева [1955] и Г.Г. Винберга [1956, 1979] в гидробиологии получили широкое распространение балансовые методы изучения энергетического обмена гидробионтов. Гидробиологам хорошо известно, что каждая популяция существует, потребляя, накапливая и рассеивая энергию в соответствии с законами термодинамики. Энергобаланс популяции отражает важные функции: величину энергопотока и продукцию новых веществ.

Этологическая гидробиология. При анализе поведения гидробионтов различают, как минимум, два подхода: естественное поведение и поведение гидробионтов при воздействии раздражителей [Сабуренков, 1977; Павлов, 1979; Павлов и др., 2000, 2007; Коротков, 2013]. Интерес к этой проблематике проявился, в большей степени, во второй половине XX века (назовем здесь лишь интересную работу К.Э. Фабри [1988] об ихтиопсихологии).

Палеогидробиология. Фактически это рассмотренные гидробиологические процессы в геологических масштабах времени. Еще полтора века тому назад геолог А.Л. Чекановский [<https://wysotsky.com/0009/086.htm>] подчеркивал, что Байкал представляет «редкий пока еще случай, где зоолог и геолог сходятся вместе для решения одного и того же вопроса и для немедленной взаимной проверки своих выводов». И еще [Чекановский, 1874, с. 30]: «Само собою разумеется, что особенности фауны Байкальской останавливали внимание Палласа (*ссылка на работу П.С. Палласа 1776 года. – Т.3., Г.Р.*). Замечательно, что уже у него находим сознание необходимости поставить эти особенности в зависимость от геологических переворотов, потрясавших край». Дискуссия Л.С. Берга [1910, 1925] и Г.Ю. Верещагина [1930а,б] о происхождении фауны оз. Байкал во многом основана на привлечении палеонтологических данных. Так, один из аргументов состоял в том, что с «давних времен, с силура, а может быть с кембрия» (Берг, 1925, с. 169) территория Байкала не покрывалась морем. При выяснении про-

исхождения и истории фауны и флоры Байкала Верещагин применял несколько методов, например, «метод биогеографического анализа, состоящий в том, что все местонахождения организмов, тождественных или родственных тем, которые обитают или обитали в Байкале, оцениваются с точки зрения их генетических и экологических особенностей» ([Верещагин, 1940]; цит. по: [Фортунатов, 1963]). Современное состояние проблемы см. обзоры [Галазий, 1993; Конов, 2011; Тахтеев, 2011].

Рассматривая палеогидробиологию (палеоэкологию) как раздел палеонтологических исследований условий обитания гидробионтов геологического прошлого, обратим внимание на проведение комплексных палеоэкологических и литологических исследований с использованием анализа донных организмов для изучения процесса развития экологических и климатических условий. Палеоэкологические исследования с использованием сохраняющихся в донных отложениях озер остатков живых организмов являются показателем климатических изменений последних 10–11 тыс. лет [Brooks, 2000, 2003]. В качестве индикаторных групп на протяжении длительного времени используются диатомовые водоросли, пыльца растений, остатки растений и животных. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Диатомовые являются индикаторами изменения рН среды, но, например, не выявляют температурные тренды. Использование хорошо сохраняющихся в донных отложениях остатков головных капсул хирономид для целей палеоклиматологии становится все более популярным (например, в голоценовых пробах встречается 50 и более таксонов многочисленных головных капсул хирономид).

Частная гидробиология. Развитие частной гидробиологии как раз не вызывает волнений: сложность гидроэкосистем и системологический принцип множественности моделей [Розенберг и др., 1999] свидетельствуют о том, что *каждый водный* объект подлежит изучению. Общими могут быть принципы такого изучения (например, мониторинговые исследования по единой программе), но каждая гидроэкосистема неповторима и требует индивидуального подхода в рамках комплексного изучения. Некоторые проблемы частной экологии и пути их решения обозначены в Водном кодексе Российской Федерации (утвержден 3 июня 2006 года) и других законодательных актах о воде с позиции ресурсной значимости и государственного регулирования их использования и охраны. Среди них:

- повышение биологической продуктивности водоемов для получения из них наибольшего количества биологического сырья (эту же задачу первой называет и А.С. Константинов [1979]);
- разработка биологических основ обеспечения людей чистой водой, в том числе оптимизация функци-

онирования экосистем, создаваемых для промышленной очистки питьевых и сточных вод (вторая задача гидробиологии по А.С. Константинову);

- защита биотических ресурсов от загрязнения как одна из важнейших мер охраны естественного воспроизводства кормовых объектов (третья задача [Константинов, 1979]);
- экспертная оценка экологических последствий регулирования, влияния энергокомплексов на водные экосистемы;
- перераспределения стока рек, антропогенных воздействий разного типа и направленности;
- влияние промышленных предприятий и городских конгломератов на состояние малых рек;
- оценка качества воды и состояния водных экосистем гидрофизическими, химическими и биологическими (биотестирование, биоиндикация) методами;
- экологическая экспертиза различных веществ и препаратов, поступающих в водоемы, выбор наиболее безопасных в экологическом плане веществ (контроль токсичности поступающих в водоем сточных вод до и после очистки, оценка эффективности работы очистных сооружений, объективная оценка ПДК и пр.);
- биологическая характеристика качества природных вод на основе реакций тест-объектов, выявление районов и источников загрязнения токсическими или другими веществами, биологическое обоснование ПДК, НДС сточных вод;
- организация постоянных наблюдений (экологический мониторинг) за состоянием водных экосистем (водно-болотных угодий, нерестилиц и др.);
- оценка биологических ресурсов гидросферы с учетом технических возможностей освоения биологического сырья и др.

Санитарная гидробиология. «Возникновение санитарной гидробиологии связано прежде всего с оценкой качества питьевой воды при централизованном водопотреблении и развитием водопроводных сетей. Водоемы были и сейчас остаются приемниками неочищенных или частично очищенных сточных вод. Рост городов, развитие социально-культурной сферы и промышленности стали лимитироваться недостатком чистой воды» [Алексеевнина, Поздеев, 2016, с. 12]. Сегодня в связи с катастрофическим обострением процессов, связанных с загрязнением (эвтрофикация, ацидофикация, «биологическое загрязнение», зарастаемость водоемов, осушение и др.) и изменениями климата важность задачи обеспечения людей чистой водой непрерывно возрастает, а природные запасы истощаются, особенно в результате загрязнения водоемов. И если первоначально санитарной гидробиологии отводили проблематику химического загрязнения вод [Жадин, 1967], то уже на состоявшемся в 1973 году II Всесоюзном совещании по санитарной гидробиологии Г.Г. Винберг определил санитарную гидроби-

ологию как часть гидробиологии, которая развивает представления и методы, связанные с биологическими процессами формирования чистой воды и возобновлением ее запасов [Биологическое самоочищение, 1975]. А еще раньше он же писал: «Санитарная гидробиология включается в решение определенных разделов одной из наиболее широких и важных проблем современного естествознания, посвященных выяснению закономерностей биотического круговорота вещества и энергии в биосфере» [Винберг, 1964, с. 117]. Таким образом, санитарную гидробиологию можно рассматривать как одно из прикладных направлений гидробиологии, призванное разрабатывать и решать вопросы, связанные с проблемой «чистой воды».

Разработанная система санитарно-гидробиологических исследований позволяет оценить степень загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям, определить процессы, протекающие в водоемах в результате загрязнений, от первой реакции экосистемы на воздействие загрязнений до определенного уровня самоочищения воды. Главное внимание при этом уделяется обеспечению населения здоровой питьевой водой – от разработки параметров качества воды до контроля и прогноза качества воды водоемов питьевого назначения [Алексеева, Поздеев, 2016].

Медицинская гидробиология (чаще – *медицинская экология*) исследует происхождение и распространение болезней, связанных с водой (в первую очередь – инфекционных). Через воду передаются такие болезни, как диарея, холера (вызывается бактериями *Vibrio cholerae*), брюшной тиф (бактериями *Salmonella typhi*), амебиаз (паразитом *Entamoeba histolytica*) и др. [Стожаров, 2007; Макшанова, 2011; и др.].

Сразу отметим, что сам термин «медицинская гидробиология» практически не используется ни в отечественной литературе (он «кочует» лишь по некоторым учебным пособиям без примеров и комментариев; назовем учебное пособие [Зилов, 2009]), ни в зарубежной (на просторах Интернета нашлась лишь одна достаточно «старая» публикация, в заглавии которой встретился этот термин [de Oliveira et al., 1967]). Нам представляется, что этот раздел очень важной науки все-таки принадлежит медицине (в контексте данной работы можно говорить о *гидробиологической медицине*, хотя чаще используют «болезни, передаваемые через воду, – waterborne diseases» [Malik et al., 2012]). Такой подход освобождает нас от необходимости давать советы медикам, как им развивать «свою науку».

Токсикологическая гидробиология или *водная токсикология*. Воздействие антропогенного загрязнения на жизнь и окружающую среду – постоянная проблема, «громкое звучание» которой связано с именем морского биолога и защитника природы Р. Карсон и ее ставшей классической монографией «Безмоль-

ная весна» [Carson, 1962]. Две главы этой книги непосредственно посвящены проблемам гидробиологической токсикологии: 4. «Surface Waters and Underground Seas» (с. 39–52) и 9. «Rivers of Death» (с. 129–153). Карсон предприняла попытку отделить медицинские аспекты исследования токсинов от общеэкологических, которые напрямую связаны с антропогенным воздействием на водные объекты.

Водная токсикология – активно развивающаяся область гидроэкологии – изучает токсическое действие отдельных веществ и факторов на гидробионты, их популяции, биоценозы и гидроэкосистемы, биологические основы водоснабжения и очистки сточных вод, меры борьбы с цветением и зарастанием водоемов. Как самостоятельная наука водная токсикология начала формироваться в середине XIX века на базе *санитарной гидробиологии*. Максимально интенсивное ее развитие приходится на середину и вторую половину XX века. Основателем водной токсикологии по праву считают Н.С. Строганова [Строганов, Пожитков, 1941; Строганов, 1960, 1970; Методика биологических..., 1971]. Им впервые были четко сформулированы задачи этой науки, введен сам термин «водная токсикология», определены критерии токсичности загрязняющих водоемы веществ. В дальнейшем, значительный вклад в развитие науки (как на местном, так и на крупномасштабном уровне) внесли и другие отечественные гидробиологи (В.И. Лукьяненко, Е.А. Веселов, Л.П. Брагинский, О.Ф. Филенко, Б.А. Флеров, В.Д. Романенко, Т.И. Моисеенко, С.А. Остроумов, Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров и мн. др.).

Не будем останавливаться на всех задачах токсикологической гидробиологии (подробнее см. например [Филенко, Михеева, 2007]). Проблемы нормирования антропогенного воздействия на качество воды также были предметом обсуждения на Объединенном Пленуме Научного совета Отделения биологических наук РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии (Москва, 30 марта 2011 года). Как правило, при обсуждении последних проблем в качестве базовых рассматривают две концепции: существующую *санитарно-гигиеническую* (или *концепцию ПДК*) и альтернативную ей *концепцию экологического нормирования*.

Концепция регионального экологического нормирования основывается на следующих положениях:

- антропогенное воздействие не должно приводить к нарушению экологического состояния водных объектов и ухудшению качества вод;
- в каждом отдельно взятом бассейне или его части (водохозяйственный участок) формируется особый состав воды, свойственный данной водосборной территории и зависящий от природно-климатических условий;

- разработка и внедрение региональных допустимых концентраций направлено на сохранение и восстановление благоприятной среды обитания гидробионтов и нормальное функционирование экосистем;
- расчет региональных допустимых концентраций осуществляется на основе систематических данных наблюдений в различные экологические сезоны.

С учетом сказанного предлагается в качестве критерия нормирования сброса сточных вод (бассейновые допустимые концентрации – БДК) использовать региональные нормативы качества вод (РНКВ), получаемые на основе мониторинга водных объектов. Концепция расчета РНКВ основывается на принципе недопустимости изменения качества вод на величину, превышающую естественные колебания концентраций воздействующих факторов. Разработка и внедрение БДК позволит исправить ситуацию, когда ПДК, с одной стороны, необоснованно завышены (например, нитраты и фосфаты для водохранилищ Средней и Нижней Волги), а с другой – занижены (медь и цинк) и не могут быть соблюдены в силу естественных причин, обусловленных природными особенностями водных объектов.

Несмотря на глобальную привлекательность *концепции критических нагрузок*, количественная оценка их величин до сих пор связана с целым рядом неопределенностей [Розенберг и др., 2011]. Прежде всего, это относится к самим основополагающим понятиям: например, до сих пор не вполне ясно, где обнаружить «специфические чувствительные элементы», что считать за «необратимые вредные изменения» и, наконец, что есть «экологическая норма». В частности, неверно подчеркивать «максимальность» критической нагрузки, поскольку многие категории действующих факторов (например, тепловое воздействие) имеют и минимальный порог критичности. И таких проблем для фундаментальных исследований – множество.

Как бы мы ни снижали уровень отрицательного воздействия на водные массы, инструментальными методами *невозможно* контролировать присутствие *всех* загрязнителей. Это занятие очень трудоемкое и финансово крайне затратное. Нужен постоянный контроль за качеством водной среды. Кроме того, для оценки «благоприятности среды» важна не концентрация определенного соединения, а *знание об опасности его воздействия*, что требует проведения специальных токсикологических исследований. В этом и кроется главное ограничение такого подхода: оценка токсичности каждого из известных и экспоненциально растущего числа все новых соединений представляется невозможной [Шитиков и др., 2005]. Очень сложно (а, зачастую, и нереально) и моделирование опасности совместного воздействия различных соединений, сочетания которых индивидуальны в каждом конкретном случае. Следует помнить и о *невозможности сравнения* по степени опасности за-

грязнения тяжелыми металлами, пестицидами, радиацией и пр. Необходимо учитывать и *пространственную неоднородность* лотических систем (сукцессии в реках [Богатов, 2013; Зинченко, Шитиков, 2015; Богатов, Федоровский, 2017]).

Нам представляется, что выход из этой почти тупиковой ситуации следует искать в биоиндикационных исследованиях – кумулятивный эффект комплексного воздействия загрязнения на гидроэкосистемы (например, хроническое загрязнение водного объекта) можно отследить только с использованием либо видов-, либо сообществ-биоиндикаторов [Зинченко, 2004, 2005; Биоиндикация экологического..., 2007; Бухарин и др., 2010].

Наиболее мощные воздействия на водные системы отмечаются в местах сочетания промышленного, сельскохозяйственного и рекреационного использования водных объектов. Характер этих нарушений зависит не только от масштаба хозяйственных воздействий, но и от способности гидроэкосистем восстанавливать свое прежнее равновесие, что, в свою очередь, ставит задачу *постоянного гидробиологического контроля* этих объектов. При этом в качестве элементов природопользования необходимо рассматривать все виды хозяйственной деятельности, что предполагает проведение инвентаризации и паспортизации водных объектов [Зинченко и др., 2003; Гелашвили и др., 2007, 2010].

Таким образом, есть основания считать, что такое нормирование позволит снизить биогенную нагрузку и уменьшить негативные последствия, связанные с «цветением» воды и ухудшением ее качества.

Радиологическая гидробиология (можно рассматривать ее и как часть водной токсикологии) занимается изучением поступления и аккумуляции в водоемах радионуклидов, влиянием их на гидробионты, накоплением их в трофических цепях. «Значительная часть радионуклидов первичного загрязнения среды смыывается с загрязненных поверхностей и с талыми, а также дождевыми водами поступает в открытые и, частично, в грунтовые воды. Источниками постоянных (незначительных) загрязнений являются АЭС, строящиеся, как правило, на берегах водоемов – рек, озер, морей: в ядерно-энергетических установках для охлаждения реакторов используются большие объемы воды, в которые попадают радиоактивные продукты коррозии и незначительная часть радиоактивных отходов. В целом в водную среду Земли (водная площадь которой составляет 2/3 всей ее поверхности) поступает до 80% антропогенных радиоактивных загрязнений, превращая ее в наиболее мощное депо не только естественных, но и искусственных радионуклидов» [Ким, Герашенко, 2010, с. 36-7].

Становление и расцвет радиационных гидробиологических исследований, прежде всего, связан с име-

нем Н.В. Тимофеева-Ресовского [1957, 1958, 1963] и его последователей [Гилева, 1964; Любимова, 1971; Куликов, 1982; и мн. др.]. В конце 1950-х годов в трудах Второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958) была опубликована интересная статья [Жадин и др., 1959], в которой показано (на работах отечественных исследователей), как внедрение в гидробиологию метода радиоактивных изотопов может способствовать решению главных задач гидробиологии – повышению полезной продукции морей и пресных вод и изучению биологических путей освобождения водоемов от антропогенного загрязнения. Так же под редакцией В.И. Жадина выходит сборник [Радиоактивные изотопы..., 1964].

Активизация исследований в рамках радиационной гидробиологии произошла после Чернобыльской катастрофы [Радиоактивное и химическое..., 1992; Лукашев, 2002; Романенко и др., 2006; Радиоэкологический отклик..., 2008 Оценка воздействий..., 2021; и др.]. Хотя сегодня и не все так благолепно – еще 10 лет тому назад было указано на разгром научной инфраструктуры (в частности, экспериментальной базы гидробиологов на водоеме-охладителе ЧАЭС – «сейчас база стоит разбомбленная в прямом смысле этого слова» [Вишневыский, Паскевич, 2012]). Завершая свою статью, эти авторы пишут: «Через несколько месяцев в Киеве будет проходить юбилейная (25-летие. – Т.З., Г.Р.) научная конференция, посвященная чернобыльской трагедии. Не трудно догадаться, что с трибуны этого форума представители власти и науки произнесут много патетических речей о значении и уникальности чернобыльской зоны как ценного научного полигона. Так было и так будет. Это происходит каждые пять лет – при “праздновании” круглой даты. Но руины чернобыльской науки прямо и бескомпромиссно свидетельствуют об истинном положении вещей в этой сфере».

Сегодня специальной (административной) структуры, которая занималась бы фундаментальными и прикладными проблемами радиационной гидробиологии, у нас в стране нет. Нет и общей программы таких работ, которая могла бы скоординировать отдельные, проводимые в академических подразделениях и вузах исследования по данной тематике. Нам представляется, что инициативу по созданию такой Программы могли бы взять на себя Научный совет по гидробиологии и ихтиологии РАН и Гидробиологическое общество при РАН.

Сельскохозяйственная гидробиология занимается изучением роли и регуляции водного населения на участках возделывания полуводных культур (в частности риса, кенафа [*Hibiscus cannabinus* L.] и пр.). Выращивание такого рода культур – это «удел» стран юго-восточной Азии; однако и у нас, в Краснодарском крае и Ростовской области, достаточно успешно зани-

маются рисоводством (чуть менее 200 тыс. га рисовых систем с общим урожаем около 1 млн тонн риса-сырца в год). Чтобы получить тонну риса, нужно, примерно, 3500 тонн воды (это почти 1,5 олимпийских 50-метровых бассейна...); соответственно, на выращивание 1 млн тонн риса ежегодно будет «уходить» 3,5 км³ воды (чуть побольше объема Ильмень-озера). Иными словами, гидробиологическое изучение рисовых полей сопоставимо с решением задач частной гидробиологии.

В районах интенсивного рисоводства бывшего СССР (Узбекистан, Киргизия, Казахстан и др.) такого рода работы велись и продолжают вестись; аналогичные исследования имеются и для рисовых полей Краснодарского края [Владимиров, 2009; Владимиров и др., 2017].

Среди проблем *сельскохозяйственной экологии* ряд специалистов выделяют проблемы малых рек, являющихся важным элементом природных комплексов, своеобразной «кровеносной системой» ландшафта, и находящихся, в основном, под воздействием сельскохозяйственной нагрузки. В очень интересной статье (Vörösmarty et al., 2010, p. 558) на основе глобального моделирования были выделены четыре глобальные группы угроз водным ресурсам:

- нарушение водосборов (пахотные земли, поголовье скота, заболачивание и др.);
- загрязнение водотоков (азотом, фосфором, пестицидами и др.);
- использование водных ресурсов (изъятие и сброс сточных вод, нарушение гидрологического режима, зарегулирование и др.);
- биотические факторы (инвазии, уменьшение биоразнообразия, неконтролируемый вылов гидробионтов, воздействие аквакультурных хозяйств и др.).

В этом контексте «чисто» гидробиологическими являются последние, биотические факторы угрозы, хотя и все остальные также оказывают влияние на гидрокосистемы [Зинченко, Розенберг, 2012, 2021]. Особое внимание следует уделять организмам, вредителям сельскохозяйственных культур (например, хирономидам-минерам [Зинченко, 1982; Дурнова, Воронин, 2008], жаброногим рачкам (*Leptestheria dahalacensis* Sars.), щитням (*Triops cancriformis* Bosc) [Девяткин и др., 2012; Костылев, Артохин, 2014] и видам, поселяющимся на стеблях растений (перифитон).

Рыбохозяйственная гидробиология. Данные о количестве тех или иных водных организмов необходимы и для суммарной оценки их роли в различных гидробиологических процессах, и для роста наших знаний о характере изменений биологической продуктивности водоемов, получения из них наибольшего количества биологического сырья [Богатова, 1980]. Среди докладов Первого и Второго гидрологических съездов было достаточно много сообщений на эту

тему. Эти исследования активно продолжали [Аверинцев, 1948; Никольский, 1961; Абаев, 1980; Негоновская, 1980; Садыхова, 1984; В. Виноградов, 1985, 1993; Хорошко, 1988; Алимов, 1989; Привезенцев, 1991] и продолжают развиваться [Герасимов, 2003; Пономарев и др., 2006; Болтачев, 2007; Калайда, Говоркова, 2013; Балыкин, Болтнев, 2014; Комлацкий и др., 2018; Лагуткина и др., 2019; и мн. др.].

О масштабах мирового рыболовства говорят следующие данные (см., например, (<https://compendium.su/geographic/world/120.html>)). Рыболовство обеспечивает занятость 130–140 млн человек; ежегодный доход от него в начале 1990-х годов составлял \$55 млрд; в мире насчитывается примерно 1,5 млн рыболовных судов; к 2000 году мировое рыболовство и добыча морепродуктов (~10–15% уловов рыбы) достигли 125 млн тонн в год. Хотя некоторые специалисты и называют вторую половину XX века «золотым веком» рыболовства, уже к 1970-м годам в результате перелома рыбы произошло резкое сокращение темпов развития отрасли. Аквакультура стала быстро развиваться также во второй половине XX века. Если в 1975 году ее мировая продукция составляла 5 млн тонн, то к 2005 году она возросла до 45 млн тонн (в 9 раз), а это примерно треть объемов вылова. В России продукция аквакультуры сравнительно невелика и представлена в основном пресноводными видами рыб.

«Советский Союз начал свой китобойный промысел в 1933 году в северной части Тихого океана и активно продолжал его с 1946–1947 годов в Антарктике, куда ежегодно направлялась мощная китобойная флотилия “Слава”. В 1987 году Советский Союз присоединился, хотя и неохотно, к мораторию МКК (*Международная китобойная комиссия – International Whaling Commission; создана 2 декабря 1946 года. – Т.З., Г.П.*). А в первой половине 1990-х годов, уже в новой России, вокруг этого вопроса шли очень большие споры, причем многие предлагали вообще выйти из МКК и возобновить добычу китов. Однако в 1994 году Россия все же присоединилась к решению МКК о создании заповедника китов в Южном океане. Зато российский китобойный флот, долго стоявший на приколе, занялся промыслом белухи в отечественных морских водах» [<https://compendium.su/geographic/world/122.html>].

Все эти интересные исторические подробности лишней раз свидетельствуют о том, что *рыбохозяйственная гидробиология* остается очень важной частью *прикладной гидробиологии*. Хочется надеяться, что в XXI веке основные усилия исследователей будут сосредоточены на прогнозировании и управлении запасами и воспроизводством океанических и пресноводных рыб и других водных организмов, что, несомненно, повысит эффективность рыбохозяйственного комплекса страны и обеспечит действенность охраны биоресурсов водных объектов.

Техническая (инженерная) гидробиология, как уже отмечалось выше, изучает создаваемые скоплениями гидробионтов помехи при эксплуатации различных гидротехнических сооружений, промышленных установок и водоводов, биологические помехи и повреждения, связанные с судоходством, и пр. «Одним из разделов прикладной гидробиологии является техническая гидробиология, связанная с разнообразной деятельностью человека, направленной на получение материалов, изделий, эксплуатацию технических объектов. Производство электроэнергии на всех типах электростанций (тепловых, атомных, гидравлических), навигация, производство различных веществ и материалов, “наземное” сельское хозяйство в значительной степени связаны с водопотреблением и водопользованием. В этой области техническая гидробиология должна решать вопросы снижения негативного воздействия технических систем на окружающую среду, в частности, на гидрэкосистемы, а также предотвращения биологических помех, вызванных жизнедеятельностью гидробионтов при эксплуатации технических систем» (Протасов, 2010б, с. 10).

«Морская буровая платформа “Оушн Рейнджер”, казалось, может противостоять любому разгулу стихий. По расчетам проектировщиков, она должна была выдерживать удары 33-метровых волн и напор ветра 185 км/ч. И все же в феврале 1982 года, во время одного из штормов, платформа опрокинулась и затонула; находившиеся на ней 83 человека погибли. А ведь и высота волн, и скорость ветра были меньше расчетных. Вполне вероятно, что решающим моментом в возрастании сопротивления волновым нагрузкам стало массовое развитие обрастания, что и привело к катастрофе» (Звягинцев, 2005, с. 11, 2007, с. 8). Апокалиптическая картина. Правда, обрастание судов обычно к катастрофам не приводит, но ведет к снижению скорости судов и вызывает серьезные экономические потери. «А иногда даже имеет стратегическое и геополитическое значение: так, одной из причин поражения в Цусимском сражении называют обрастание днищ кораблей. Стоит отметить также, что поток видов-вселенцев на корпусах судов не подвластен никакой таможенной и карантинной службе» [Звягинцев, 2005, с. 11]. Общий мировой ущерб от морского обрастания на начало XXI века составлял \$50 млрд в год, из них 20% приходилось на обрастание судов [Зевина, 1994].

Работы по гидробиологическому изучению процессов обрастания ведутся весьма активно [Зевина, 1972, 1994; Кафтанникова, Протасов, 1975; Зинченко, 1981; Соколова и др., 1981; Zinchenko, 1989; Биоповреждения..., 1987; Оксюк и др., 1987; Протасов и др., 1987, 2004, 2017; Раилкин, 1998; Звягинцев, 2005, 2007; Львова и др., 2005; Протасов, 2009, 2013; Морозовская, Протасов, 2013; Герасимов, 2014; Орлова, Родионов, 2020; и мн. др.].

Почти 60 лет тому назад В.Н. Беклемишев [1964, с. 36] писал: «наши дома, орудия и сооружения входят в качестве неживых частей в новую организацию живого покрова (Земли), которая создается под воздействием человечества». В этом контексте интересен подход украинского гидробиолога А.А. Протасова, работы которого внесли существенный вклад в изучение и решение проблем обрастания в пресных водах (прежде всего, биологические помехи в эксплуатации энергетических станций²). Речь идет о *водных техноэкосистемах* (ВТЭС), под которыми он понимает «совокупность биотопов природного и техноантропогенного характера, их живого населения, объединенных системой прямых и обратных связей, потоками вещества, энергии и информации, изменяющихся в пространстве и во времени» (Протасов, 2013, с. 407). Конечно, он не был первым, кто обратил внимание на особенности таких ВТЭС (природно-технических систем) – назовем лишь некоторые работы (Naveh, 1982, 2000; Федотов, 1985; Бондарик, Ярг, 1990, 2004; Ревзон, 1992; Мазур и др., 1996; Жариков, 2000; E. Odum, 2001; H. Odum, B. Odum, 2003; Протасов, 2009, 2011; Техноэкосистема АЭС., 2011; Протасов, Силаева, 2012; Протасов и др., 2017; Музалевский, 2019); термин «природно-техническая система» широко употребляется в научно-технической литературе и даже в ряде нормативных документов. В статье (Протасов, 2013, с. 419–420) сформулированы следующие особенности техноэкосистем в целом и ВТЭС в частности:

- техноэкосистемы обладают своеобразным составом элементов и особой структурой;
- имеют смешанный источник энергии, кроме солнечной (в том числе и аккумулированной в органическом ископаемом топливе), энергию воздушных и водных течений, ядерного топлива, химических реакций и др.;
- при любом соотношении техно- и геоэлементов именно влияние технических определяет функционирование всей техноэкосистемы как целого;
- в техноэкосистемах техническая составляющая экологически, по характеру своего воздействия на биотические компоненты весьма сходна с другими абиотическими факторами;

² Здесь следует назвать пионерные работы сотрудника Куйбышевской биостанции (впоследствии – ИЭВБ АН СССР) М.Я. Кирпиченко [Кирпиченко и др., 1962, 1963; Ляхов и др., 1964; Кирпиченко, 1965а, б, 1997; Дзюбан, Кирпиченко, 1971, 1972] по детальному изучению в течение ряда лет фенологии, динамики численности и роста личинок *Dreissena polymorpha* (Pallas), что позволило разработать оригинальные методы защиты гидротехнических сооружений, которые используются до сих пор. Основная идея этих методов – разрыв непрерывной цепи стадий развития моллюска (воздействуя любым фактором [нагревание, электрический ток и пр.] или реагентом, возможным к применению в технологическом процессе того или иного производства, где дрейсена оказывает отрицательное воздействие). Данный принцип стал стержневым моментом во всех исследованиях по борьбе с любыми биологическими обрастаниями.

- биотические элементы не только находятся под влиянием косных, но и воздействуют как на природные, так и техногенные элементы;
- техноэкосистемы пространственно сложно выделить среди природных;
- техноэкосистемы чрезвычайно разнообразны по своей структуре, предназначению, функционированию, что затрудняет их типизацию;
- природные экосистемы и биогеомы имеют определенную эволюционную связь, техноэкосистемы возникают, существуют, развиваются обособленно.

Заслуга Протасова состоит в том, что он продемонстрировал, «что конструирование технических систем, имеющих связь с водными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Хотя все еще преобладает важный, но достаточно односторонний “природоохранный” подход, который сейчас определенным образом модифицируется на базе превалирования методов биоиндикации над физико-химическими аналитическими методами контроля, основная задача технической гидробиологии (а частично, на наш взгляд, и санитарной) состоит не только в контроле, важность которого не вызывает сомнения, но и в разработке принципов и методов управления целостной техноэкосистемой. Эффективное управление этими системами, равно как и агроэкосистемами, – основа гармонизации отношений человека с биосферой планеты» [Протасов, 2013, с. 420]. А перед этим там же читаем: «Вопрос о роли техноэкосистем в биосферных процессах чрезвычайно важен, что предполагает дальнейшие теоретические разработки в этой области». Попробуем внести свой вклад в такого рода разработки [Розенберг, 2019а].

Более 40 лет тому назад израильский ландшафтный эколог З. Наве предложил *концепцию Всеохватывающей экосистемы с человеком* (Total Human Ecosystem, ТНЕ; [Naveh, 1982, 2000; Naveh, Lieberman, 1983]). «Всеохватывающую экосистему с человеком следует рассматривать как высшую коэволюционную экологическую единицу на Земле, а ландшафты – ее конкретные трехмерные системы “гештальты” (нем. *Gestalt* – целостная форма или структура. – Т.З., Г.Р.), образующие пространственную и функциональную матрицу для всех организмов (включая людей) и их популяций, сообществ и экосистем. Поэтому ландшафты представляют собой нечто большее, чем повторяющиеся экосистемы на протяжении километров. Они должны изучаться и управляться самостоятельно в разных функциональных и пространственных масштабах и измерениях» [Naveh, 2000, p. 358].

Экоцентрическая концепция ТНЕ ставит своей целью изучение «экосистем с человеком» для повышения эффективности планирования и управления окружающей средой в рамках комплексного и междисциплинарного подхода. Можно сказать, – это следующий

шаг по градиенту «экосистема (А. Тенсли) – техно-экосистема (А. Протасов) – ТНЕ (З. Наве)». Эта концепция объединяет техносферу, ноосферу и биосферу Земли в некую общую среду на самом высоком коэволюционном уровне (З. Наве часто в качестве синонима ТНЕ использует понятие «экосфера»; первое использование термина см. [Cole, 1958]). Приведем всего два современных определения «экосферы».

- «Экосфера: 1) совокупность абиотических объектов и характеристик Земли, создающая на ней условия для развития жизни (то есть *биотоп биосферы*) <...>; 2) синоним биосферы (редко, главным образом в иностранной литературе); 3) совокупность свойств пространства, находящегося под влиянием космического тела <...>; 4) среда развития хозяйства; 5) синоним *окружающей человека среды*» [Реймерс, 1990, с. 600].

- «Итак, экосфера = современная биосфера + техносфера. В таком понимании экосфера предстает как арена взаимодействий человека и природы, на которой сосредоточены все современные экологические проблемы и коллизии. Экосфера становится главным объектом современной “большой” экологии» [Акимова и др., 2001, с. 29].

В той или иной интерпретации понятие «экосфера» (ТНЕ) продолжает использоваться в научной литературе [Ehrlich et al., 1971; Коммонер, 1974; А. Павлов, 2006, 2013; Мунин, Кочуров, 2013, 2015; Розенберг, 2019а; и др.). Не будем оригинальными и примем следующую формулу:

$$\begin{aligned} & \text{биосфера} \\ & + \\ & \text{ноосфера} \\ & + \\ & \text{техносфера} = \\ & = \text{экосфера.} \end{aligned}$$

Иными словами, можно смело принять за аксиому тот факт, что современные глобальные экологические проблемы являются результатом столкновения между техносферой и ноосферой, с одной стороны, и биосферой – с другой; причем в этом столкновении техносфера играет активно-агрессивную роль. Если пользоваться экологической терминологией, то речь, в сущности, идет о процессе *конкурентного вытеснения* биосферы техносферой (оккупация планеты), все возрастающей экспансии человеческой цивилизации. Поскольку техносфера, ноосфера и биосфера находятся в постоянном взаимодействии, их сумму можно представить как единую систему – экосферу (ТНЕ). Именно человечество, ресурсы и продукты его производства оказывают серьезное влияние на процессы, протекающие в экосфере, вмешиваются в природный круговорот, изменяя его сбалансированность и гармо-

ничность. «Всеохватывающая экосистема с человеком (Total Human Ecosystem – ТНЕ), объединяющая людей со всеми другими организмами и их общей средой на самом высоком уровне глобальной иерархии, должна стать объединяющей целостной парадигмой для всех синтетических “экодисциплин”» [Naveh, 2005, p. 228]. Естественно, все это относится и к гидроэкосистемам:

$$\begin{aligned} & \text{гидросфера} \\ & + \\ & \text{управление,} \\ & \text{регулирование} \\ & + \\ & \text{антропогенные объекты} \\ & \text{в соприкосновении с водой} = \\ & = \text{гидроэкосфера.} \end{aligned}$$

Особый тип ландшафтов в рамках ТНЕ – это *культурные ландшафты*, в которых отношения между человеческой деятельностью (как эффективной, основанной на экологии, управлением землей или водными объектами) и окружающей средой создали экологические, социально-экономические и культурные модели и механизмы обратной связи, которые сохраняют биологическое и культурное разнообразие и поддерживают (улучшают, повышают) устойчивость экосистем и способствуют устойчивому развитию ТНЕ. Новые ландшафты, новое поведение человека и связанные с этим новые и неожиданные проблемы могут способствовать переосмыслению экологических (гидробиологических) законов и инициировать новые практические действия.

Космическая гидробиология. Космическая эра человечества началась 4 октября 1957 года с запуском советского космического аппарата, первого в мире искусственного спутника Земли. Начали сбываться слова К.Э. Циолковского о том, что человечество не останется вечно на Земле. Процесс пошел...

Естественно, для длительных экспедиций привезти с Земли на станцию все (воздух, воду, пищу и пр.) – задача почти неосуществимая; необходимо было создание системы жизнеобеспечения с полной замкнутостью потоков вещества [Газенко и др., 1987; Гришин, 1989]. Первая экспериментальная установка (БИОС-1) появилась в 1964 году в лаборатории биофизики Института физики СО АН СССР (Красноярск) – производимого в ней одноклеточными водорослями рода хлореллы (*Chlorella* Beij., 1890) кислорода было достаточно для одного человека; затем ученые смогли увеличить время пребывания в замкнутом объеме с 12 часов до 30 суток, а позднее был замкнут и водообмен, что позволило провести 45-суточный опыт (<https://back-in-ussr.com/2015/11/zamknuty-e-biosistemy-sovetskih-uchenyh.html>). Можно говорить о том, что в

1964 году начались работы по космической гидробиологии. В настоящее время хлорелла, а также некоторые другие виды микроводорослей – рода сценедесмус (*Scenedesmus* Meyen, 1829), спирулина (*Arthrospira*) и др. – используются как модельные биообъекты автотрофного звена искусственных экосистем.

На МКС и в открытом космосе с июня 2007-го года по июль 2008-го проводился эксперимент «Биориск-МЧН» с целью изучения возможности существования живых организмов в открытом космосе: объекты (среди которых были и гидробионты – ракообразные в состоянии покоя и личинки комара африканской хирономиды *Polypedilum vanderplanki* Hinton, 1951 – подвергались температурному (от –100 до +100 °С) и радиационному воздействию (<https://www.roscosmos.ru/5832/>). С этим же видом хирономид в 2014 году на МКС был проведен эксперимент «SpaceMidge», в ходе которого впервые была показана возможность полного цикла метаморфоза у водных насекомых (<https://www.nkj.ru/news/24150/>). Интересна и серия совместных российско-японских экспериментов «Аквариум-АQN» [Alekseev et al., 2007; Алексеев и др., 2011]. Все это, как считается, поможет решить важную для будущих межпланетных перелетов проблему планетарного карантина и планетарной защиты. Заявленная программа экспериментов продолжается.

Как уже нами неоднократно отмечалось, эффективное управление водными ресурсами – одна из важных глобальных задач, стоящих перед человечеством. И эта задача не может быть решена без наличия достоверной и оперативной информации. С этих позиций исследование Земли из Космоса также является важным инструментом получения такого рода экоинформации. Это касается как наземных (ландшафтных и гидрологических) исследований (например, [Абросимов, Дворкин, 2009; Розенберг и др., 2012; Рылов и др., 2015; Бердников и др., 2016]), так и гидробиологических [Незлин, 2001; Ткаченко, 2004, 2012 и др.].

Всего один пример. При использовании аэрокосмической съемки в гидробиологических исследованиях наибольшие перспективы имеет зондирование морского дна в видимой части спектра. Непосредственно в гидробиологических исследованиях аэрокосмическая съемка наиболее задействована в картировании и многолетнем мониторинге ландшафтно-бентосных комплексов в верхней части морского шельфа [Ткаченко, 2001, 2004]. «Наибольшее развитие, начиная с конца 80-х годов прошлого века, аэрокосмическая фото- и сканерная съемка получила в исследованиях коралловых рифов в связи с более приемлемыми оптическими характеристиками тропических вод, актуальностью широкомасштабного картирования коралловых мелководий из-за их исключительной важности как биоресурса для человечества и в связи с их наибольшим биоразнообразием среди всех

морских экосистем, высокой динамичностью и наибольшей уязвимостью под влиянием природных и антропогенных факторов» [Ткаченко, 2012, с. 20]. С использованием дистанционного зондирования морского дна и оригинальных методов дешифрования и обработки снимков для гидробиологических исследований была продемонстрирована возможность использования аэрокосмических изображений для картирования, классификации и мониторинга бентосных сообществ верхней части морского шельфа, таких как коралловые рифы, водоросли и морские травы; показаны перспективы использования спектральных характеристик гидробионтов и неорганических компонент биотопов в дешифрировании аэрокосмических изображений дна. Правда, отмечается, что «несмотря на то, что некоторые современные спутниковые сенсоры (Ikonos, Quick-Bird) имеют пространственное разрешение, соразмерное с таковым при аэросъемке, проблема рассеяния света в воздушной и водной средах вместе с относительно слабым спектральным разрешением спутниковых сенсоров в настоящее время осложняет их использование для детального картирования (с точностью >70%) ландшафтно-бентосных комплексов, особенно это относится к классификации и определению текущего статуса доминирующих типов бентоса на коралловых рифах» [Ткаченко, 2012, с. 23]. Иными словами, работы в этом направлении следует продолжать, подкрепляя их натурными наблюдениями для более эффективной интерпретации получаемых снимков.

Гидробиологическое образование. Еще академик С.А. Зернов [1934, с. 33–34] в своей книге «Общая гидробиология» писал: «Гидробиология, в соответствии со своей теоретической установкой и практическим значением, преподается у нас в ряде вузов, втузов и техникумов; первая профессура по гидробиологии в России была установлена в 1914 году на рыбохозяйственном отделении (затем факультете) Петровской (теперь Тимирязевской) с.-х. академии (основателем и первым заведующим был Л.С. Берг. – Т.З., Г.Р.), преобразованном в 1930 году в Московский институт рыбной промышленности. В МГУ, ЛГУ и в ряде других университетов Союза имеются гидробиологические циклы на биофаке. В Плехановском институте в Москве гидробиология ведется с уклоном в сторону биологической оценки питьевых и сточных вод».

В настоящее время в целях подготовки специалистов, понимающих стратегическую значимость гидробиологии и предметов, связанных с водными ресурсами, в системе образовательных дисциплин, в соответствии с учебными программами в университетах (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет, Сибирский Федеральный университет, Мурманский арктический государственный

университет, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Челябинский государственный университет, Керченский государственный морской технологический университет, Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Ярославский государственный университет им П.Г. Демидова, Камчатский государственный технический университет, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина и ряд других высших учебных заведений), гидробиология базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин: «Общая гидробиология», «Зоология», «Экология», «Водные растения», «Экология водных организмов», «Фауна Каспийского моря», а также на материалах дисциплин профессионального цикла «Товарное рыбоводство», «Промысловая ихтиология» «Санитарная гидробиология», «Аклиматизация водных организмов», «Декоративное рыбоводство», «Водная экология». «Биотестирование вод», «Водная токсикология» и др. Целью дисциплины является ознакомление студентов с основным объектом исследования гидробиологии – водными экологическими системами, их структурой и функциональными особенностями, без знания которых невозможно в настоящее время рациональное использование биологических ресурсов, охрана гидросферы от загрязнения, научное прогнозирование ее состояния и умение студентов, будущих специалистов, оценить вклад гидробионтов в биогеохимические процессы океана и биосферы на современном этапе.

При этом одной из приоритетных задач дисциплины «гидробиология» является изучение эколого-физиологических и чисто экологических процессов, протекающих в гидросфере и ее пограничных областях. Результаты этих исследований дают возможность рационально использовать ресурсы водных, прибрежно-водных и всех наземных объектов, развивать аквакультуру, организовывать службы биологического мониторинга, оценивать качество воды, а также очищать воду, в том числе биологическими методами. При широком биосферном понимании гидросферы, а соответственно и гидробиологии, выделяются общие и частные направления (разделы) гидробиологии. Изучаются условия существования гидробионтов в гидросфере, определяемых свойствами самой воды, донных осадков, обуславливающих ряд важнейших морфофизиологических особенностей гидробионтов, влияющих на их распределение, поведение, на всю совокупность процессов жизнедеятельности; студенты познают основы закономерностей биологических явлений и процессов, происходящих в гидросфере, изучают экологические основы жизнедеятельности гидробионтов (питание, водно-солевой обмен, дыхание, рост и развитие), биологических систем в гидросфе-

ре (популяции, биоценозы), их структуру и функциональные особенности.

Несмотря на то, что гидробиология постоянно развивается, появляются новые специализации, но фундаментальные приоритетные экологические направления и практические задачи остаются неизменными.

Что же ждет тех, кто решил избрать профессию гидробиолога? Вот так рисуется карьерный рост гидробиолога на сайте Vuzopedia: «Карьерные перспективы гидробиолога нужно рассматривать в научной сфере и экономической деятельности. Ученые-гидробиологи публикуют научные работы, участвуют в международных конференциях, проводят много времени в научных экспедициях. Основным признаком профессионального успеха гидробиолога является завоевание признания в профессиональной среде, получение научного звания. В экономическом плане гидробиологи обеспечивают добычу и восполнение биологических ресурсов в морях и пресноводных водоемах. В их услугах заинтересованы рыбоводческие предприятия, рыболовные компании, экологические и природные защитные организации. Гидробиолог является важным специалистом в штате компаний, занимающихся разведением рыб, моллюсков, растений и т. д. В таких организациях есть возможность занятия должности ведущего специалиста или руководителя. Также можно построить успешную карьеру в государственных структурах, контролирующих вылов морских биоресурсов» (<https://vuzopedia.ru/professii/407>).

Несомненно, очень важно, чтобы, в целях подготовки специалистов, понимающих стратегическую значимость гидробиологии и предметов, связанных с водными ресурсами, уделять внимание ранней профориентации и мотивации школьников, используя для этого стационарные городские экологические образовательные площадки, выездные детские экологические лагеря и экспедиции, а также средства массовой информации, активно заниматься научной, педагогической и просветительской деятельностью [Камнев, 2015]. В этой связи можно перечислить немного отечественных журналов, публикующих результаты гидробиологических исследований.

Да, есть журналы «Биология внутренних вод» (учредители: Российская академия наук и Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН), «Биология моря» (учредители: РАН и ДВО РАН) и «Морской биологический журнал» (учредители: Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН и Зоологический институт РАН), ориентированные на гидробиологические исследования пресноводных и морских гидрэкосистем. Гидробиологические работы публикуют и другие академические журналы – «Аридные экосистемы», «Ботанический журнал», «Водные ресурсы», «Вопросы ихтиологии», «Евразийский энтомологический журнал», «Журнал общей

биологии», «Зоологический журнал», «Океанология», «Поволжский экологический журнал», «Успехи современной биологии», «Цитология», «Экология», – вузовские издания и журналы отдельных академических и научно-исследовательских институтов и обществ («Астраханский вестник экологического образования», «Биосфера», «Вестник Московского государственного университета. Биология», «Вестник Томского государственного университета. Биология», «Вестник Тюменского государственного университета», «Вода: химия и экология», «Вопросы современной альгологии», «Карельский научный журнал», «Принципы экологии», «Региональная экология», «Российский журнал биологических инвазий», «Российский журнал прикладной экологии», «Рыбное хозяйство», «Самарская Лука. Проблемы региональной и глобальной экологии», «Ученые записки Казанского университета», «Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова», «Экология и промышленность России» и др.). Еще есть научно-популярные журналы: «Знание – сила», «Наука и жизнь», «Природа», морской познавательный журнал «!Океан», и другие издания, которые могут быть использованы не только как платформы для обмена научной информацией, но и для популяризации гидроэкологических знаний. Однако хотелось бы (дань традиции?) возродить «Русский гидробиологический журнал», издававшийся при Волжской биологической станции в 1921–1929 годах в Саратове. «Вне всякого сомнения, это был один из авторитетнейших гидробиологических журналов того времени, а поскольку статьи сопровождалась очень подробными рефератами на немецком, французском или английском языках, о нем знали и за рубежом» [Карпинский, 2009, с. 251].

Заканчивая наши размышления о путях развития гидробиологии (движение по «траектории гидробиологии» по выражению М.И. Гладышева [2020]), отметим, что процесс ее «экологизации» – от аутигидроэкологии (физиологии водных организмов) через демигидроэкологию (популяционный уровень) к сингидроэкологии (анализ гидроэкосистем) – будет продолжаться, и это в теоретическом плане потребует разработки (переложения, «перевода») 12 основных экологических концепций [Розенберг и др., 1999]:

- *совокупного действия факторов на гидробионты и гидроэкосистемы* (факториальная гидробиология);
- *устойчивости популяций* (типы жизненных стратегий);
- *минимального размера популяций* (оптимальный размер рыбной стаи или косяка);
- *взаимодействия популяций* (общебиологический принцип конкурентного исключения Гаузе, кстати, был сформулирован при изучении конкуренции между двумя видами гидробионтов – инфузориями *Paramecium aurelia* и *P. caudatum*);

- *экологической ниши* (см. принцип плотной упаковки экологических ниш [Brave et al., 2011; Petersen et al., 2011; Шитиков и др., 2021]);

- *биологического разнообразия* (постулаты видового обеднения, гипотезы альфа-, бета- и гамма-разнообразия и др.);

- *экосистемы* (закон оптимальной компонентной дополнителности – континуума (представления о речном континууме (см. [Vannote et al., 1980; Богатов, 2013; Зинченко, Шитиков, 2015], объединение видов по жизненным формам (экобиоморфам), характер адаптаций и др.);

- *зональности* (мозаичности гидроэкосистем, *правило предварения* (?), *правило викариата* и др.);

- *климакса* (принцип сукцессионного замещения, модели сукцессий и др.);

- *сетчатой эволюции сообществ* (принцип эволюционно-экологической необратимости, *правило «age and area»* и др.);

- *биосферы* (*гидросфера*; принцип максимизации энергии, законы пирамид чисел, биомассы, продуктивности, *правило десяти* (?) процентов, модели крупных гидроэкосистем – см. например [Ворович и др., 1981; Рациональное использование..., 1981]³).

Движение по этой «траектории» обеспечит гидробиологии наиболее эффективное выполнение основных задач, которые были сформулированы еще С.А. Зерновым [1934, с. 10–11, 15]: «Исследовательская работа в области гидробиологии разветвляется прежде всего по двум основным направлениям – хорологическому и экологическому. В применении к гидробиологии задача *хорологии* – изучение распределения в пространстве водных организмов, сообществ водных организмов и типов водных бассейнов; задача же *экологии* – изучение приспособления водных организмов к окружающей среде (*выделено автором*. – Т.З., Г.Р.). Однако совершенно очевидно, что изучение всего того комплекса проблем, который возникает в гидробиологии в отношении трех ее основных единиц – водного организма, сообщества водных организмов и типа водного бассейна, – не может быть проведено изолировано, вне связи с теми различными путями, по которым вообще работает в настоящее время биология. <...> Гидробиология необходима и для работ по культурному рыбному хозяйству». Естественно, что за 90 лет спектр воздействующих на гидробионты факторов сильно расширился, как и список биологических, географических, социо-экономических и других научных дисциплин, применение которых в гидробиологии выводит ее на новый уровень систем-

³ Авторский коллектив был отмечен Государственной премией по науке и технике СССР 1983 года за работу «Имитационная модель экосистемы Азовского моря как средство системного анализа, прогнозирования и управления природно-техническим комплексом».

ности (комплексности) в исследовании водных организмов и гидросистем и делает (наряду с фитотехнологией) одним из самых успешно развивающихся разделов общей экологии.

Надо признать и то, что период активного развития и использования основ гидробиологических знаний в экономических целях (в частности, для активного вылова промысловых гидробионтов) и для глубокого всестороннего исследования гидросферы с использованием всевозможных технических средств, включая космические и подводные аппараты, хотя и продолжается, однако наблюдается падение интереса к гидробиологии (с 90-х годов XX века по настоящее время), причиной чему, с одной стороны, является серьезный экономический кризис, загрязнение окружающей среды, уменьшение запасов пресноводных источников, и, параллельно, изменившаяся система образования (в частности, сроки обучения в вузах), что обуславливает, в целях сохранения национальной безопасности, пересмотр отношения государства к ряду научных направлений. В частности, к гидробиологии, которая должна стать стратегической дисциплиной государственного значения [Камнев, 2015].

Безусловно, сегодня правильное решение задач гидробиологии возможно только при системном и комплексном подходе и обязательно совместно со специалистами других областей науки – океанологии и лимнологии, гидрологии и гидрохимии, гидрогеологии и геоморфологии, почвоведения и биогеографии, метеорологии и климатологии, гляциологии, экономической географии и др. Вместе с тем, следует отметить, что в настоящее время во всем мире изменился вектор интересов «больших администраторов от науки», имеющих финансовые ресурсы, к комплексному развитию различных направлений в науке, в частности, к классической биологии. Приоритеты исследования целостности живых систем ушли на второй план, а основными стали исследования, связанные с использованием методов молекулярной биологии. Плохо это или хорошо? Такие периоды в развитии гидробиологии, выдвигаемые запросами жизни и логикой развития науки, направлены на создание теории прогнозируемых экосистем под влиянием различных факторов; однако, разрабатывая генеральную стратегию отношения к гидросфере, нельзя ни на минуту забывать об опасности нарушения обмена веществ и энергии между человеком и природой.

Профессор МГУ А.Н. Камнев [2015] сформулировал следующие первоочередные задачи современной гидробиологии:

1. Сохранение и очистка воды различных природных водных объектов и всех категорий сточных, канализационных и технических вод (*повышение роли санитарной гидробиологии*).
2. Усовершенствование методов оценки запасов про-

мысловых гидробионтов, их вылова, а также методов сбора и использования штормовых выбросов; уточнение и определение квот вылова (*развитие системной, теоретической и продукционной гидробиологии*).

3. Аквакультура как способ повышения продуктивности водных экосистем (*продукционная гидробиология*).
4. Оценка влияния изменения глобальных климатических условий на водные экосистемы и отдельные виды гидробионтов (*дань моде, но также такого рода исследования должны опираться на серьезную теоретическую базу*).
5. Оценка влияния глобальной ацидификации на гидросистемы (*«глобальную ацидификацию», как, впрочем, и глобальные процессы засоления водных объектов, можно рассматривать в контексте предыдущего пункта о влиянии климатических изменений на них*).
6. Участие в создании новой, более совершенной законодательной базы, связанной с водными ресурсами, добычей и использованием гидробионтов (*зависит от «заказа» государства, гражданской позиции и прочих условий социально-экономического характера*).
7. Профориентационная и просветительская деятельность в области охраны и рационального использования водных ресурсов (*такого рода знания никогда не будут вредными для общества...*).

Изложенные ранее основные направления развития современной гидробиологии не противоречат этим задачам, что позволяет, «не изобретая велосипеда», принять их «за основу» и расширить с учетом некоторых наших предложений. По мнению А.Н. Камнева [2015], «в ближайшее время, исходя из здравого смысла, сложившихся экономических условий и ухудшения экологической обстановки как в России, так и в мире, должен наступить период нового проявления интереса к классической биологии, а также гидробиологии (*период возрождения гидробиологии*) и более рационального использования накопленных ею знаний (*выделено автором. – Т.З., Г.Р.*)», с чем не можем не согласиться и мы.

Все это подтверждает справедливость слов академика В.И. Вернадского [1933, с. 9; 2003, с. 20]: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы с ней сравниться по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Нет земного вещества – минерала, горной породы, живого тела, которое бы ее не заключало. Все земное вещество – под влиянием свойственных воде частичных сил, ее парообразного состояния, ее вездесущности в верхней части планеты – ею проникнуто и охвачено. Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты опре-

деляются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами».

Любая открытая рецензия на ту или иную публикацию – это уже и есть элемент научной дискуссии. Однако в истории науки (особенно отечественной) можно найти примеры специально организованных обсуждений путей развития тех или иных научных направлений. На гидробиологической секции Фаунистической конференции Зоологического института АН СССР (3–8 февраля 1932 года) прошла дискуссия о путях развития гидробиологии [6]; дискуссия по проблеме биологической продуктивности водоемов развернулась в 1936–1937 годах на страницах «Зоологического журнала» (см. [Рижинашвили, 1921, с. 111–120]). Позже, через 30–40 лет о путях развития гидробиологической науки писали А.С. Константинов [5] и Г.Г. Винберг [1977]; через сходный промежуток времени мы вновь наблюдаем повышение интереса к этой теме [Протасов, 2010а,б; Алимов и др., 2013; Камнев, 2015, 2016, 2017; Гладышев, 2020].

В своей монографии [4] мы сознательно, даже несколько провокационно, включили главу об основных направлениях развития гидробиологии с надеждой на то, что она станет «затравкой» для дискуссии по этой важной проблеме; эта глава и оформлена в виде статьи, представленной выше. Еще до выхода монографии в начале марта 2022 года и, естественно, после мы разослали ее PDF-файлы коллегам с просьбой не только сделать замечания, но и поучаствовать в предполагаемой дискуссии.

Одним из первых на наше предложение отреагировал еще в конце 2021 года почетный член гидробиологического общества, профессор А.А. Протасов (Киев, Украина). Мы отдельно останавливаемся на этом случае, так как год назад многие международные научные отношения, в том числе и с нашими украинскими научными коллегами, были прерваны. В письме А.А. Протасова к Г.С. Розенбергу как к главному редактору журнала «Биосфера» он попросил приостановить свою деятельность в составе редколлегии журнала и не публиковать его дискуссионную статью, но разрешил частично использовать ее текст.

Статья А.А. Протасова действительно показалась нам интересной и конструктивной, что мотивировало нас к приведению обширных цитат из нее в качестве начала дискуссии, коль скоро Александр Алексеевич не оговорил объем «частичности».

Протасов А.А.: из заметок на полях книги об истории, настоящем и будущем гидробиологии

Между *Заметками* на полях и развернутой *Рецензией* есть существенные различия. Рецензия пишется после того, как книга прочитана, осмыслены ее основ-

ные положения, это оценка ее структурных, стилистических, а для научной книги главное – информативных достоинств. Рецензия – сама по себе исследование проблемы. Заметки же делаются по ходу знакомства с книгой, когда читатель еще не имеет представления о том, куда выведут автора те или иные изыскания. В лучшем случае, если работы автора известны, можно сопоставить читаемое с его прежними работами.

Заметка к названию книги. Гидробиология 20-х годов..., а ведь это интересно, сто лет для науки — это очень большой срок. Сама задумка неординарна, авторы заставляют нас не только вспомнить о давних уже годах становления гидробиологической науки, но непосредственно погрузиться в ту эпоху. Никто из делегатов тех съездов не мог знать, что через полтора десятка лет жизнь многих из них будет определять не их научный потенциал, не научные достижения, а фокусы политической системы. Стоит заметить, что гидробиологи тогда еще не имели возможности проводить собственные научные форумы, находились под «зонтиком» гидрологии. И здесь можно сделать такую заметку: съезды-то были гидрологические, а гидрология и гидробиология тесно связаны; было бы неплохо, если бы авторы книги сделали небольшой обзор и гидрологических докладов, тех, что имели связь с гидробиологией.

<...>

В самом начале книги авторы упомянули историю, когда автор сих заметок пытался разыскать материалы съездов в связи с интересом к научной судьбе одного украинско-российско-американского ученого. Материалы были найдены на просторах интернета. Если материалы в общем-то находимы, то может быть, перепечатка их в книге излишня? И вот здесь одна из *важных заметок на полях*: идея авторов – это большая удача, сами тезисы докладов и современные комментарии к ним чрезвычайно важны! Надо сказать, что относительно доступности научной литературы интернет как-то все более сужается и коммерциализируется. Поэтому я, как, наверное, и многие гидробиологи, экологи, очень признательны Г.С. Розенбергу и его коллегам, которые сделали доступными классические экологические работы [Маргалев, 2011; Розенберг, 2004]; данная книга – это еще один шаг в области просветительства, это ее важный аспект.

Биографические справки к докладам на съездах, да еще с портретами ученых, многие из которых, наверное, разыскать было не так-то просто, украшают книгу. История, рассказанная как бы самими учеными. Вот она, проходит перед нами галерея замечательных исследователей: Н.М. Книпович, Л.С. Берг, Л.А. Зенкевич, В.И. Жадин, десятки специалистов, труды которых заложили основы гидробиологической науки. И если история и судьба научных трудов перед нами – в этих тезисах, статьях, – то человеческие судьбы их

как запутаны! Судьбы и история. Вот портрет – классический образ профессора: пенсне, борода клинышком. Профессор Д.Е. Белинг (1882–1949). Ихтиолог, гидробиолог, знаток фауны Днепра. С 1922 по 1937 год был директором Днепровской биологической, затем Гидробиологической станции. В 1937 году был арестован как «шпион», однако в июне 1941 года, как можно прочесть в Википедии (русский и украинский варианты), был назначен первым директором Гидробиологического института Академии наук УССР. Однако в книге по истории гидробиологических исследований [3] читаем, что с 1939 года директором института, созданного в 1940 году, был известный альголог Я.В. Ролл. История полна противоречий. Судьба Белинга сложилась драматично. В начале войны в Уфу была эвакуирована только половина состава института, и он остался в Киеве и руководил оставшимся фрагментом института, уже в условиях оккупации. Эвакуировался в 1944-м, но уже на запад, и закончил жизнь профессором Геттингенского университета. Позади у всех докладчиков были революция и гражданская война, впереди – репрессии, новая война. И наука.

Совершенно естественно, что обзор и анализ материалов научных работ 100-летней давности приводят нас к современности. Одним из ключевых вопросов, который поднимали периодически гидробиологи, был вопрос о структуре гидробиологии. Авторы приводят свою классификацию гидробиологических проблем. Здесь можно *сделать такую заметку*: за сто лет основные структурные элементы гидробиологической науки существенных изменений не претерпели. Стоит отметить относительно новые разделы: системная гидробиология, этологическая, из более частных проблем – изучение последствий термофикации, повышения кислотности водной среды, загрязнение специфическими именно для нашего времени веществами, радиологическая и космическая гидробиология. Но ключевым вопросом остается все-таки вопрос о предмете гидробиологии. Можно согласиться с М.И. Гладышевым [2020], что гидробиология – наука более широкая, нежели просто «мокрая версия экологии» [7]. Она должна изучать все проявления жизни в гидросфере, точнее – в обитаемой части гидросферы (если исключить ледники и пары атмосферы), при необходимости исследовать и саму гидросферу как арену жизни. Пользуясь терминологией и подходами В.И. Вернадского [1], гидробиологию следует рассматривать как науку о живом веществе в гидросфере. Около 450 млн лет назад биосфера резко разделилась на две «подсферы» – условно, старую, гидробионтную и совершенно новую – атмобионтную. Каковы же были основные адаптации атмобионтов, как они возникли, чем принципиально отличаются эпигейные экосистемы от водных – все это могло стать предметом иссле-

дований и обобщений весьма важной науки – атмобиологии [Зернов, 1949]. Если добавить к гидробиологии атмобиологию, то эти две науки, гидробиология вместе с атмобиологией (вероятно, и с литобиологией), могли бы составить единую науку Геобиология (может быть, Гайябиология) – науку о жизни на Земле. Стоит задуматься над тем, почему, собственно, такая наука не появилась.

Авторы приводят 12 основных экологических концепций в приложении их к гидробиологии. Но если считать, что гидробиология имеет свой объект и предмет исследований, то должна иметь она и свои, специфические для нее концепции. Не стоило бы здесь выделить и собственно гидробиологические, такие концепции как экотопических группировок гидробионтов, экоморфогенеза в условиях гидросферы, контурных и внутренних экосистем и сообществ, биогеомов гидросферы?

Если перейти от проблем общей гидробиологии к частным и прикладным, то я бы остановился на разделе «техническая гидробиология». Задачи, которые перечислены в нем, были сформулированы еще в 1930-х [Никитинский, 1938]. Однако представляется, что область технической гидробиологии сейчас гораздо шире, и это вытекает из представлений об основном предмете этого раздела гидробиологии, а именно – о техноэкосистеме. Добавляя в природные экосистемы антропогенные элементы биотопов или создавая целые новые техноэкосистемы, человек активно вмешивается в изменения структуры биосферы в целом. Техническая гидробиология, с ее основным объектом – водной техноэкосистемой (ВТЭС), выходит тогда за рамки прикладной гидробиологии и «вписывается» в такие обширные концепции, как концепция Всеохватывающей экосистемы с человеком (ТНЕ [Naveh, 1983]). В очередной раз благодарен Г.С. Розенбергу и его коллегам за его просветительскую деятельность: вот и сейчас, благодаря ссылкам в книге, переводу статьи З. Наве и комментарию [Розенберг, 2019], я и другие читатели, думаю, познакомятся с этой интересной теоретической работой. Концепция ТНЕ по своей внутренней идее настолько сильно перекликается с ноосферой В.И. Вернадского [2], что, на мой взгляд, заслуживает внимания в первую очередь потому, что, популяризирует его идеи среди англоязычных читателей, которые вряд ли будут обращаться к публикации Владимира Ивановича 1945 года. Здесь открывается широкое поле для дискуссий и обсуждений. Однако терминологический калейдоскоп в этой области весьма осложняет взаимопонимание. После того как почти 80 лет назад В.И. Вернадский писал: «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой» [2, с. 464], все исследования, эмпирические обобщения могут иметь дело только с частностями.

Обсуждения глобальных проблем в книге тем и хороши, что заставляют в который раз сформулировать, может быть скорректировать собственные представления. Здесь выстраивается такая логика. Живые организмы не могут существовать вне экосистем, вне биосферы. Экосистема есть естественная единица биосферы как биокосной фрактальной системы. Человек как биологический вид ничего нового не внес в строение экосистем и биосферу, пока его деятельность была связана с природными материалами, природными процессами. Создание новых материалов, использование других, кроме солнечной, источников энергии, а самое главное – создание и поддержание экосистем, которые лишены свойств аутопоэза (см. [Розенберг, 2019]), – вот что сделало человечество геологической силой, а его активность – геологическим фактором. Стоит подчеркнуть, что под ноосферой Вернадский понимал новое состояние биосферы. Несколько упро-

шенно, переход к ноосфере можно сопоставить с переходом от венда к кембрию, тогда тоже появилось много «отходов» в виде остатков скелетов, и, надо сказать, биосфера с этим кризисом справилась. Благодаря «кризису деструкции» в карбоне мы имеем запасы ископаемого топлива, но в конце мезозоя (110–75 млн лет назад [2]), когда формировались лесные биогеомы, этот кризис был уже преодолен.

Если биосфера, эта пленка жизни, представляется действительно как сфера, бережно обволакивающая поверхность планеты, то ноосфера пока скорее похожа не на сферу, а на «ноокуб», вершины и грани которого нелепо торчат в самых неподходящих местах.

Как оказалось, «поля» у книги Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга гораздо шире, чем могло бы показаться при начальном знакомстве. Прошлое, настоящее и будущее оказались тесно связанными. Книга заставляет лишний раз задуматься об этом.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Мысль, 1994.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. В кн.: Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського. Т. 4. Кн. 2. Киев; 2012. С. 453-65.
3. Романенок В.Д., ред. Гідробіологічні дослідження континентальних водойм в Національній академії наук України (до 90-річчя НАН України). ред. Киев: СПД Москаленко О.М.; 2008.
4. Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника). Тольятти: РИО ИЭВБ РАН, 2022.
5. Константинов А.С. Общая гидробиология. 4-е изд. М.: Высшая школа; 1986.
6. Труды Фаунистической конференции Зоологического института 3–8 февраля 1932 г. Секция гидробиологическая. Л.: Изд-во АН СССР, 1934.
7. Узунов Й., Ковачев С. Хидробиология. София; Москва: ПЕНСОФТ, 2002.

Общий список литературы/Reference List

1. Vernadsky V.I. Zhivoye Veschestvo i Biosfera [The Living Matter and the Biosphere]. Moscow: Mysl, 1994. (In Russ.)
2. Vernadsky V.I. [Biosphere and Noosphere]. In: Vibriani Naukovi Pratsi Akademika V. I.

Vernadskogo. T. 4 Kn. 2. [Selected Scientific Works of Academician V.I. Vernadsky] Vol. 4. Book 2. Kiev; 2012. P. 453-465. (In Russ.)

3. Romanenok V.D., ed. Hidrobiologichni Doclidzhennia Kontinentalnikh Vodoym v Natsionalnyi Akademii Nauk Ukraini (do 90-richchia Ukraini. [Hydrobiological Studies of Continental Water Bodies in the National Academy of Sciences of Ukraine (Dedicated to the 90th Anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine)]. Kiev: SPD Moskalenko O.M.; 2008. (In Ukr.)
4. Zinchenko T.D., Rozenberg G.S. Hidrobiologiya 20-kh Godov 20-go Veka (Retrokhronika). [Hydrobiology of the 20ies of the 20th Century (Retrochronicle)]. Togliatti: RIO IEVRB RAS; 2022.
5. Konstantinov A.S. Obschaya Hidrobiologiya [General Hydrobiology]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1986. (In Russ.)
6. Anonimous. Trudy Faunisticheskoy Konferentsii Zoologicheskogo Instituta 3-8 Fevralia. Sektsiya Hidrobiologicheskaya [Proceedings of the Faunistic Conference of the Zoological Institute, February 3–8, 1932. Hydrobiological Section]. Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR; 1934. (In Russ.)
7. Uzunov Y., Kovachev S. Khidrobiologiya [Hydrobiology]. Sofia-Moscow: PENSOFT; 2002. (In Bulg.)

А.Л. Рижинашвили*

РЕТРОСПЕКТИВА И ПЕРСПЕКТИВА

(заметки к перспективам развития современной гидробиологии, намеченным Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенбергом в книге «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)».

Тольятти: ИЭВБ РАН, 2022)

Замечательный эпиграф-цитата дан авторами во введении к книге: «Чтобы понять какую-либо науку, необходимо знать историю этой науки». Действительно, история науки (и биологии, в частности) часто бывает незаслуженно пренебреженной областью знания. На нее смотрят просто как на набор интересных фактов и деталей биографий ученых. Отчасти в этом бывают повинны сами историки науки, внимание которых далеко не всегда сосредотачивается на анализе развития тех или иных концепций. Между тем, как показывает моя собственная практика (а я одновременно и гидробиолог, и историк гидробиологии), именно последовательное развертывание становления той или иной системы взглядов, так называемая «история идей», может служить базой для решения вопросов современной фундаментальной науки. Тогда история того или иного раздела науки представляется как своего рода континуум представлений и подходов к решению проблемы. Проблемы, поставленные в науке еще в начале XX века, продолжают существовать, однако уже на другом уровне. Ретроспектива авторов как раз служит достаточно убедительным тому доказательством.

Однако в данном эссе мне хотелось бы остановиться не на самом обзоре материалов гидрологических съездов, а на тех выводах, которые сделали авторы, основываясь на их анализе.

Прежде всего, я не могу согласиться с выделенными ими разделами общей гидробиологии. Системная и продукционная «гидробиологии» по определению не могут являться чем-то отдельным. Если отталкиваться от определения гидробиологии как науки о структуре и функционировании водных экосистем (а именно так ее следует рассматривать как экологическую дисциплину), то именно процессы продукции и деструкции и есть основа организации и динамики гидроэкосистем. Никаких особых общих проблем структуры и функционирования водных экосистем не существует. Вопросы подхода к экосистеме как системе должны решаться не в рамках экологии, а в рамках, например, системного анализа. На мой взгляд, также не оправдано разделение продукционной гидробиологии на трофологическую и энергетическую. Наиболее яркая иллюстрация моих утверждений – история развития продукционных концепций в XX веке. Р. Линдеман, положивший в 1942 году начало

трофодинамике, как раз и рассматривал функционирование экосистемы в ее динамике (сукцессии) как передачу энергии по пищевой цепи (отсюда и название «трофодинамическое направление»). То есть поток энергии и биологические процессы (питание) являются взаимосвязанными и неотделимыми друг от друга. Трофологию, на мой взгляд, следует рассматривать как направление в гидробиологии, имеющее исключительно историческое значение. Изучение количественных показателей питания находится в русле классических представлений продукционной гидробиологии. Вопросы же качественного своеобразия питания организмов (как пищевые спектры) относятся к компетенции экологии конкретных групп организмов. Трофология не может служить основой продукционной гидробиологии, так как основа продукционных процессов лежит не в питании, а в метаболизме гидробионтов в целом.

Авторы обращают особое внимание на взаимовлияние гидрологии и гидробиологии в первой четверти XX века. Это действительно так. Поэтому на сегодняшний взгляд может показаться удивительным тот факт, что гидробиологические сообщения представляли на гидрологических съездах. Однако объединяющей основой данного взаимопроникновения является не вода, как полагают авторы, а то, что водоем представляет собой сравнительно замкнутый объект, в котором все абиотические и биотические процессы тесно переплетены. В этом отношении стоит вспомнить слова В.И. Жадина (1940) [1] о том, что гидрологические и биологические процессы в водоеме «сливаются». Известная дискуссия 1936–1937 годов о том, куда «девать» гидробиологию – «в гидрологию» или «в экологию», была вызвана отнюдь не только идеологическими соображениями времени, но и объективной трудностью «ведомственного» разделения процессов и объектов в водоеме (см. об этом подробнее [4]). К счастью, со временем спор разрешился в пользу экологической трактовки гидробиологии. На современном уровне развития гидробиологии хорошей иллюстрацией слияния «биологии» и «гидрологии» является состав пула растворенных органических веществ (РОВ). РОВ могут быть результатом как экстрацеллюлярной продукции фитопланктона, так и поступления терригенного гумуса [3], которое регулируется характером водосбора и гидрологическими процессами.

В самом конце книги авторы вслед за А.Н. Камневым намечают «первоочередные задачи современной гидробиологии». В этих задачах почему-то оказались перемешаны проблемы собственно науки и чисто практические

* Рижинашвили Александра Львовна – доктор биологических наук, ИО заведующего сектором истории эволюционной теории и экологии, Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН; railway-ecology@yandex.ru

запросы, как, например, «сохранение и очистка воды», «уточнение и определение квот вылова», «участие в создании законодательной базы», а также «профориентационная и просветительская деятельность», с чем согласиться никак нельзя, ибо конкретные меры и действия не могут являться задачами фундаментальной науки.

Авторы также задаются весьма важным вопросом: «Приоритеты исследования целостности живых систем ушли на второй план, а основными стали исследования, связанные с использованием методов молекулярной биологии. Плохо это или хорошо?» (с. 161). По моему мнению, конечно же, плохо. Редукционизм в биологии начала XX века (я имею в виду физико-химическую биологию) привел, сколь ни странным это может показаться, к крупным холистическим обобщениям, что особенно ярко проявилось именно в гидробиологии. Достаточно вспомнить концепцию биотического баланса Г.Г. Винберга, буквально «выросшую» из физико-химической школы Н.К. Кольцова. Однако век спустя химический (точнее, молекулярный) редукционизм приводит к утрате понимания специфики живого, превращения, например, диагностики видов в рутинную автоматизированную лабораторную процедуру. И вот здесь обращение к истории науки является совершенно необхо-

димым. Только она может убедительно показать, что экология в целом (и гидробиология, в частности) – наука абсолютно «живая», как и другие разделы биологии.

Несомненно, обсуждаемая книга (даже если с некоторыми выводами авторов и нельзя согласиться) содержит ценнейший материал, который дает пищу для серьезных размышлений. Успешное дальнейшее развитие гидробиологии возможно лишь на основе глубокого осознания гидробиологии как «экологической дисциплины биосферного масштаба» (с. 161; см. также [2, 5]). К этому стоит добавить, что такое осознание должно основываться на понимании исторических путей развертывания идей и концепций в гидроэкологии.

В заключение хотелось бы кратко остановиться на тех задачах, которые, по моему мнению, должна решать современная гидробиология. Как мне представляется, необходимо больше внимания уделить системе «фитопланктон – бактерии – РОВ», в частности, с позиций обеспеченности продуцентов биогенными элементами (причем не только азотом, но и фосфором, а в ряде случаев – углеродом и другими элементами) и происхождения пула РОВ, его молекулярного состава. Без сомнения, здесь заложен надежный путь прогнозирования и управления гидроэкосистемами.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940.
2. Колчинский Э.И. Эволюция биосферы: Историко-критические очерки исследований в СССР. Л.: Наука; 1990.
3. Рижинашвили А.Л. Углеводы в водных экосистемах и их возможная связь с жизнедеятельностью организмов различных трофических уровней. Успехи соврем. биол. 2019;139(1):75-83.
4. Рижинашвили А.Л. Развитие экосистемных представлений в водной экологии (Российская Империя – СССР, первая половина XX века). М.: КМК; 2021.
5. Рижинашвили А.Л. Развитие экосистемных представлений в экологии и продукционные аспекты исследования биосферы. Историко-биологические исследования. 2021;13(1):133-58.

Общий список литературы/Reference List

1. Zhadin VI. Fauna Rek i Vodokhranilisch. [Fauna of Rivers and Reservoirs]. Moscow-Leningrad; Izdatelstvo AN SSSR; 1940. (In Russ.)

2. Kolchinsky EI. Evoliutsiya Biosfery: Istoriko-Kriticheskiye Oчерki Issledovaniy v SSSR [Evolution of the Biosphere: Historical and Critical Essays on Research in the USSR]. Leningrad: Nauka; 1990.
3. Rizhinashvili AL. [Carbohydrates in aquatic ecosystems and their possible relationship with the vital activity of organisms at various trophic levels]. Uspekhi Sovremennoy Biologii. 2019;139(1):75-83. (In Russ.)
4. Rizhinashvili AL. Razvitiye Ekosistemnykh Predstavleniy v Vodnoy Ekologii (Rossiyskaya Imperiya – SSSR, Pervaya Polovina XX Veka [Development of Ecosystem Concepts in Aquatic Ecology (Russian Empire – USSR, the First Half of the 20th Century)]. Moscow: KMK; 2021.
5. Rizhinashvili AL. [Development of ecosystem concepts in ecology and production aspects of the study of the biosphere]. Istoriko-Biologicheskiye Issledovaniya. 2021;13(1):133-58.

М.И. Гладышев***К ИСТОКАМ ГИДРОБИОЛОГИИ****О книге: Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника).****M.I. Gladyshev
TO THE ORIGINS OF HYDROBIOLOGY**

В основу книги положена нестандартная идея – вернуть читателя к истокам отечественной гидробиологии, обеспечив возможность, как это теперь модно и актуально говорить, онлайн-участия в первых гидрологических съездах начала прошлого века. Онлайн-формат присутствия на конференциях и семинарах – современная «ковидная» реальность, и авторы книги с присущим им остроумием удачно применили его ретроспективный вариант.

Пересказ содержания книги, подобный тому, что вынуждены делать официальные оппоненты на защите диссертаций, не является целью данной заметки, поэтому позволю себе сразу перейти к «сверхзадаче» сего произведения в том смысле, как понимал данный термин для театральных произведений К.С. Станиславский. То есть важная задача книги – изложение истории гидробиологии, а «сверхзадача» – обеспечение возможности более глубокого и отчетливого понимания современного состояния этой науки, а также целей и перспектив развития. Именно рассмотрению проблем, стоящих перед современной гидробиологией, и посвящен заключительный раздел этой замечательной книги «Основные направления развития гидробиологии».

Авторы вслед за Г.Г. Винбергом подразделяют гидробиологию на общую и прикладную (частную), подчеркивая очевидную взаимосвязь обоих блоков единой науки. Далее перечисляются основные направления развития гидробиологии в рамках каждого из выделенных двух блоков. С любой подобной классификацией можно поспорить, добавляя или убирая из нее те или иные разделы. Однако важнее не детали классификации, отражающие научный и практический опыт создателей, а ее целевая установка. Авторы книги, продолжая логику своего произведения, то есть отталкиваясь от исторических предпосылок, прогнозируют пути развития современной гидробиологии с целью ее совершенствования. В любой науке так или иначе происходит интуитивное спонтанное развитие по пути проб и ошибок, и тем ценнее попытки придать этому процессу теоретически обоснованное ускорение и целенаправленность.

Авторы совершенно обоснованно и точно выдвигают тезис, который я бы назвал одним из ключевых во всей книге: «Напомним, что основная задача гидробиологии состоит в изучении экологических процессов в гидрос-

фере с целью нахождения путей управления водными экосистемами, при которых польза от проведенных исследований и принятия решений по их эксплуатации соответствовала бы рациональному природопользованию» [с. 124; курсив авторов]. И здесь ни в коем случае нельзя упрекнуть их в излишней «прикладной» направленности понимания гидробиологии как науки.

Действительно, задача любой науки – получение фундаментальных знаний об изучаемых предметах и явлениях. По моему мнению, фундаментальными знаниями об объекте являются лишь такие, которые в конечном итоге позволяют предсказать поведение объекта в любых внешних условиях и управлять им. Возможно, кто-то из людей старой школы заметит в этом высказывании некую аналогию с известным тезисом когда-то непрекаемо авторитетного, а ныне презираемого из конъюнктурных политических соображений философа-марксиста, что критерием истинности философских (то есть научных) суждений является практика. Ну что ж, попытаюсь объяснить свою солидарность с авторами в понимании гидробиологии как именно фундаментальной науки, на следующем простом «прикладном» примере. Предположим, что некому «прикладному» заказчику (предприятие, федеральная организация) захотелось ликвидировать «цветение» воды цианобактериями в подведомственном водоеме, и он обратился к гидробиологам. Очевидно, чтобы справиться с данной прикладной задачей и убрать из водоема один-единственный вид цианобактерий, например, методом биоманипуляции «top-down», необходим полный набор фундаментальных знаний о целостной экосистеме. Если наши фундаментальные знания об экосистеме являются адекватными, то мы – при наличии соответствующих материальных ресурсов – можем успешно решить поставленную прикладную задачу по управлению состоянием экосистемы (даже если «состояние» понимается заказчиком как биомасса одного лишь вредоносного вида), а заодно и проверим фундаментальность своих знаний и узрим в них пробелы для последующего заполнения. То есть фундаментальная наука может развиваться по своей внутренней логике, но проверка истинности получаемых научных знаний невозможна без их практических приложений.

Авторы книги последовательно развивают центральный тезис о взаимосвязи и взаимозависимости фундаментальной и прикладной гидробиологической науки (забываемый в погоне за «импактовыми» статьями и вы-

* Гладышев Михаил Иванович, докт. биол. наук, чл.-корр. РАН, зав. лаб. экспериментальной гидроэкологии, Институт биофизики СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия; glad@ibp.ru

ращиванием хиршей), упоминая успехи продукционной гидробиологии и аквакультуры в их расширенном понимании, включая работы академика Л.А. Зенкевича по акклиматизации кормовых беспозвоночных в Каспии, а также этологии гидробионтов (в первую очередь – экологические механизмы миграций рыб, открытые школой академика Д.С. Павлова). Рассматриваются и другие выделенные авторами разделы гидробиологии, в частности, санитарной и технической (концепция «техноэкосистемы» проф. А.А. Протасова). Без фундаментальных знаний, полученных плеядой выдающихся российских и советских гидробиологов в рамках вышеперечисленных научных направлений, невозможна рациональная эксплуатация и охрана природных вод.

Очень важный раздел в заключительной части книги посвящен обсуждению острейшей научной и практической проблемы, а именно нормированию антропогенной нагрузки через систему предельно допустимых концентраций (ПДК). Установленные еще в СССР (я долго, но тщетно пытался выяснить: кто, когда и на какой научной основе установил их численные значения), ПДК, в том числе – рыбохозяйственные, были и остались одними и теми же для всех природных водных экосистем от Ташкента до Магадана. Мягко говоря, абсурдность подобного нормирования очевидна всем специалистам, но воз и ныне там. Авторы предлагают собственную концепцию региональных нормативов качества природных вод, которая, безусловно, заслуживает внимания и дальнейшего развития.

С.М. Голубков*

ГИДРОБИОЛОГИЯ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА О монографии Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)»

В начале 2022 года издательством РИО ИЭВБ РАН была опубликована монография Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)» [11]. Монография совмещает два аспекта: исторический и гносеологический. В первых двух главах авторы на основе обзора гидробиологических докладов участников Первого Всероссийского и Второго Всесоюзного гидробиологических съездов, прошедших в 1924 и 1928 годах, знакомят читателей с лидерами отечественной гидробиологии первой трети XX века, а также со сравнительно молодыми в то время гидробиологами и ихтиологами, многие из которых в дальнейшем составили «цвет» российской гидробиологии прошлого века: Л.С. Бергом, В.И. Жадиным, Л.Л. Россолимо, Е.Ф. Гурьяновой и многими другими выдающимися исследователями. В книге приводятся даты жизни докладчиков, даны краткие справки о направлении их исследований, научных достижениях и правительственных наградах. Указано, кто из гидробиологов, участников гидробиологических съездов, в дальнейшем пострадал от Сталинских репрессий или умер во время Отечественной войны в блокадном Ленинграде. К сожалению, таких было немало.

Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберг разделили гидробиологические доклады, сделанные на съездах, на следующие тематические направления: теоретическая гидробиология, бактериопланктон, простейшие, фитопланктон, высшая водная растительность, подводные лишайники, зоопланктон, нейстон, бентос, ихтиофауна, доклады, посвященные общему гидробиологическому анализу: реки, озера, моря, инвазии, доклады о деятельности ги-

добиостанций, экспедициях и пр., а также посвященные санитарной гидробиологии. Ими проведено сопоставление между содержанием этих докладов и научными проблемами, решение которых актуально в современный период. Авторы монографии постарались увидеть и проанализировать «истоки» целого ряда гидробиологических представлений. В ряде случаев приводятся краткие обзоры дальнейшего развития идей, высказанных участниками съездов, или современное состояние гидробиологических проблем, на которые указали докладчики. Например, после изложения материалов доклада А.Л. Бенинга о придонной жизни реки Волги, сделанном им на Первом Всероссийском гидробиологическом съезде, авторы монографии приводят подробное описание современных данных о таксономическом составе комаров звонцов различных водоемов и водотоков дельты Волги и Северного Каспия, их распределении и динамике таксономического состава и количественных показателей за последние десятилетия.

Третья заключительная глава монографии посвящена обсуждению основных направлений развития современной отечественной гидробиологии. Основное внимание уделено проблемам частной и прикладной гидробиологии. Кроме частной, авторы кратко обсуждают проблемы санитарной, медицинской, токсикологической, радиологической, сельскохозяйственной, рыбохозяйственной, технической (инженерной) и космической гидробиологии, а также задачи и перспективы гидробиологического образования в России. Развитие частной гидробиологии, изучение конкретных водоемов и водотоков, по их мнению, должно проводиться на основе системологического принципа множественности моделей,

* Голубков Сергей Михайлович, д.б.н., член-корр. РАН, Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург; golubkov@zin.ru

согласно которому каждый водный объект подлежит изучению. Однако это изучение должно проводиться с позиции ресурсной значимости и государственного регулирования их использования и охраны.

Говоря об исследованиях в рамках санитарной гидробиологии, авторы подчеркивают значимость оценки степени загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям. Они пишут: «Разработанная система санитарно-гидробиологических исследований позволяет оценить степень загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям, определить процессы, протекающие в водоемах в результате загрязнений, от первой реакции экосистемы на воздействие загрязнений до определенного уровня самоочищения воды. ...Ценность данных, получаемых в результате биологического анализа качества воды, состоит в том, что начинающиеся изменения в структуре и функционировании планктонных и донных сообществ служат сигналом неблагополучия в состоянии водоема еще до того, как концентрации отдельных химических соединений достигли или превысили уровни предельно допустимых концентраций (ПДК), а общие показатели качества воды соответствуют требованиям «Правил охраны поверхностных вод». По существу, биологические методы дают возможность принять профилактические меры по охране водоемов» [11, с. 132-133].

Тем не менее, проблемы загрязнения окружающей среды водоемов авторы относят не к санитарной гидробиологии, а к водной токсикологии. В нее, помимо проблемы загрязнения водоемов токсическими веществами, они включают разработку биологических основ водоснабжения и очистки сточных вод, разработку мер борьбы с «цветением» и зарастанием водоемов [11, с. 134], то есть проблемы их эвтрофирования. При таком расширенном понимании не вполне понятно, чем это направление в гидробиологии отличается от санитарной гидробиологии, так как в обоих случаях речь идет как о качестве вод, так и об экологическом нормировании. Во избежание путаницы к водной токсикологии все-таки лучше относить задачи, связанные с изучением реакции гидробионтов и экосистем на загрязнение водоемов токсическими веществами, тем более что загрязнение такими веществами может приводить к деэвтрофированию водоемов, а реакция биоты на токсические загрязнения в олиготрофных водах часто более значима, чем в эвтрофных. Кроме того, в последние десятилетия все большее значение придается так называемому «биологическому загрязнению», под которым понимается вселение и развитие популяций чужеродных видов [22], которые могут оказывать самое разное влияние на экосистемы водоемов. Поэтому важно не смешивать разные типы загрязнений, изучение влияния которых можно объединять в рамках одного направления, изучающего антропогенные воздействия на водные экосистемы. При этом к водной токсикологии лучше относить воздействие именно токсических веществ.

По мнению Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга одной из главных причин нарушения нормального функционирования водных экосистем и ухудшения качества вод является несовершенство системы нормирования антропогенной нагрузки. В частности, то, что в качестве критериев нормирования применяются одинаковые для всей территории России предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования природных вод. Взамен существующей, ими выдвигается концепция регионального экологического нормирования, которая предполагает разработку и внедрение региональных ПДК загрязняющих веществ. При этом в качестве элементов природопользования необходимо рассматривать все виды хозяйственной деятельности, что предполагает проведение инвентаризации и паспортизации водных объектов. Очевидно, что предлагаемый ими подход позволит значительно повысить эффективность природоохранной деятельности.

Авторы также обращают внимание на проблему «критической нагрузки» на экосистемы водоемов особенно в связи с хроническими (отложенными) последствиями загрязнения сравнительно небольшими дозами токсичных веществ, влияние которых на экосистему может проявиться только через значительный промежуток времени. Такую нагрузку трудно диагностировать обычными методами, так как не всегда понятно, какими антропогенными или естественными факторами вызвана та или иная структура биологических сообществ. На мой взгляд, определенным решением этой трудной проблемы может быть применение биомаркеров, под которыми понимаются изменения в физиологии или морфологии гидробионтов, наличие которых может свидетельствовать о воздействии ядовитых веществ на биоту водоема. Важным критерием надежности биомаркеров служит их функциональность. Наблюдаемые изменения в организме должны иметь очевидные отрицательные последствия для жизнедеятельности водных животных, выживания или успеха размножения [13, 20].

Большой раздел главы 3 посвящен технической (инженерной) гидробиологии. Подчеркивается, что «современные глобальные экологические проблемы являются результатом столкновения между техносферой и ноосферой, с одной стороны, и биосферой – с другой; причем в этом столкновении техносфера играет активно-агрессивную роль» [11, с. 146].

При обсуждении перспектив космической гидробиологии совершенно справедливо отмечено, что эффективное управление водными ресурсами невозможно без наличия достоверной и оперативной информации, большие объемы которой можно получить при исследовании Земли из Космоса. При этом авторы вслед за К.С. Ткаченко считают, что аэрокосмическая съемка наиболее задействована в картировании и многолетнем мониторинге ландшафтно-бентосных комплексов в верхней части морского

шельфа. Последнее не совсем верно. В гидробиологии космическое зондирование в первую очередь применяется для оценки и мониторинга первичной продуктивности вод Мирового океана. Более того, только благодаря использованию сканеров цвета, установленных на спутниках, появились принципиальные возможности определения площадей, занятых водами разной продуктивности с учетом их сезонной изменчивости и пространственной неоднородности, и определения глобальной первичной продукции океанических вод, так как оценки концентрации хлорофилла и первичной продукции, сделанные ранее в ходе рейсов НИС, были слишком фрагментированы в пространстве и во времени [7]. Тем не менее, следует согласиться с авторами монографии, что работы в этом направлении следует продолжать, подкрепляя их натурными наблюдениями для более эффективной интерпретации получаемых снимков.

Рассматривая направления развития общей (фундаментальной) гидробиологии, авторы последовательно обсуждают проблемы и задачи системной, продукционной, трофологической и энергетической гидробиологии. Следует отметить, что такое деление фундаментальной гидробиологии в настоящее время носит условный характер и в основном отражает направления развития на ранних этапах ее становления как науки. Например, основой современной продукционной гидробиологии является энергетический принцип изучения трофических связей в экологических системах [2]. При этом важным инструментом исследования трофодинамики водных экосистем является балансовый подход, при котором энергия разнообразной пищи, потребляемой особью, популяцией или трофическим уровнем (их рационом), является входным параметром балансового равенства, в которое также входят затраты энергии на метаболизм и продукцию. Для оценки рациона животных применяются разнообразные методы исследований, в том числе разные параметры и индексы избирательности питания (см., например, [12, 17, 18]). С другой стороны, еще Г.Г. Винберг в своей монографии 1956 года «Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб» убедительно показал, что изучение питания животных следует проводить с учетом их пищевых потребностей, то есть затрат энергии на метаболизм и продукцию [6]. В дальнейшем балансовый подход и энергетический принцип при изучении питания животных были использованы в работах целого ряда известных гидробиологов [1, 17, 18]. В свою очередь В.Е. Заика [9, 10] предложил изучать продукцию водных животных с учетом их рациона при разных условиях питания. Более того, изучения продукции гидробионтов необходимо проводить, руководствуясь энергетическим принципом изучения трофических связей: с учетом энергоемкости (калорийности) тканей гидробионтов, концентрации и качества пищи и т. д. [2, 6, 17]. Для этого необходимы данные о спектрах питания разных видов гидробионтов. Таким образом, в настоящее время нет оснований выделять в отдельные направления трофо-

логическую, продукционную и энергетическую гидробиологию, поскольку их методы и представления дополняют друг друга и широко используются в рамках общего трофодинамического направления в водной экологии.

Для того чтобы определить, какой трофический уровень(и) занимает тот или иной вид гидробионтов, а также как и на каких трофических уровнях в экосистеме используется органическое вещество, создаваемое гидробионтами или поступающее в водоем с водосбора, в последние десятилетия стали широко использоваться методы анализа содержания стабильных изотопов в теле гидробионтов и биохимические маркеры органического вещества разного происхождения (например, [19, 21, 24, 26, 29]). Такие методы значительно облегчают анализ пищевых цепей в экосистемах. Тем не менее, исследования пищевых предпочтений водных животных, выполненные с применением «классических методов», продолжают быть востребованы (например, [25]). С учетом всего этого, скорее можно говорить, что продукционная гидробиология с применением новых инструментальных методов постепенно выходит на более высокий методический уровень, чем применять морально устаревший термин «трофологическая гидробиология». В то же время, важно согласиться с мнением Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга, что применение этих методов является продуктивным подходом при изучении спектров питания планктонных и бентосных беспозвоночных.

Говоря о системной гидробиологии, авторы монографии вслед за А.Ф. Алимовым выделяют три этапа развития науки: этап накопления эмпирического знания (описательный, инвентаризационный), концептуально-теоретический (формирование списка понятий науки, выдвижение гипотез о структуре и механизмах функционирования описываемых систем) и третий этап, на котором проводится формализация этих представлений на языке математики в рамках системного подхода. По их мнению, гидробиология находится на втором этапе развития, а третий этап только начинается. Давая такую осторожную оценку, авторы монографии излишне консервативны. Системный характер гидробиология приобрела еще в 30–40-х годах прошлого века, когда сформировалось трофодинамическое направление в гидробиологии и экологии, в рамках которого водоемы и водотоки рассматриваются как системы, функционирующие согласно законам термодинамики. Применение энергетического принципа в изучении трофодинамических связей в экосистемах позволило предсказывать количественное развитие популяций разных видов в зависимости от трофического уровня, который они занимают. Важным этапом дальнейшего развития этого направления было накопление количественных знаний о продукционных возможностях различных групп животных (например, [1, 3, 8]). Все это позволило формализовать представления о продукционном процессе на языке математики (третий этап развития науки) и успешно моделировать реакцию водных

экологических систем, включая экосистемы крупнейших озер, морей и океанов, на действие разнообразных факторов [14, 15, 27]. О зрелости гидробиологии как науки также свидетельствует более десятка научных концепций, на две из которых (концепции речного континуума и экологической ниши) ссылаются авторы монографии. С остальными можно познакомиться в ряде других обзорных монографий [2, 4, 16]. Следовательно, в настоящее время гидробиологию можно считать вполне зрелой наукой, способной решать достаточно сложные практические задачи [28]. Осторожные оценки Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга в отношении этапа развития гидробиологии, по-видимому, во многом связаны с организационными трудностями в отечественной академической и вузовской науке, недофинансированием и постоянными поисками новых организационных форм, начавшиеся в 1990-х годах и не прекращающиеся до сих пор, о чем они также пишут в заключительной третьей главе.

Заканчивая свои размышления о путях развития гидробиологии, авторы монографии подчеркивают, что процесс ее развития будет продолжаться, и «это в теоретическом плане потребует разработки (переложения, «перевода») еще 12 основных экологических концепций» [11, с. 153], которые в основном разрабатывались в рамках экологии наземных сообществ и пока мало используются в гидробиологии. Они отмечают, что перед гидроэкологической наукой стоит чрезвычайно сложная задача прове-

дения исследований по разработке научно-обоснованных критериев состояния пресноводных и морских экосистем под воздействием различных факторов антропогенного происхождения, экологических процессов в гидросфере в интересах взаимодействия человеческого общества с водными экосистемами. К первоочередным задачам современной гидробиологии они также относят оценку влияния климатических изменений на водные экологические системы, что безусловно верно (см., например, [23]).

В целом монография Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга представляет значительный интерес как для специалистов, гидробиологов и историков науки, так и для широкого круга читателей, интересующихся вопросами водной экологии и охраны окружающей среды. Монография в краткой форме знакомит читателей со многими учеными первой половины XX века, а также с видными гидробиологами наших дней. Убедительно продемонстрирована преемственность поколений отечественных гидробиологов. Авторам удалось на основе содержания гидробиологических докладов, сделанных на двух гидрологических съездах, проходивших в 20-х годах прошлого века, познакомить современных читателей с актуальными проблемами отечественной гидробиологии того времени, показать их связь с современными научными направлениями в этой области науки и на основе их анализа обсудить актуальные направления будущих гидробиологических исследований.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алимов АФ. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука; 1981.
2. Алимов АФ, Богатов ВВ, Голубков СМ. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука; 2013.
3. Балущкина ЕВ. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Л.: Наука; 1987.
4. Богатов ВВ, Федоровский АС. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука; 2017.
5. Винберг ГГ. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорус. ун-т; 1956.
6. Винберг ГГ. Взаимозависимость роста и энергетического обмена у пойкилотермных животных. В кн.: Количественные аспекты роста организмов. М.: Наука; 1975. С. 7-25.
7. Виноградов МЕ. Биологическая продуктивность океанических экосистем. В кн.: Новые идеи в океанологии. Т. 1. Физика, химия, биология. М.: Наука; 2004. С. 237-63.
8. Голубков СМ. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых. СПб.: Зоол. ин-т РАН; 2000.
9. Заика ВЕ. Удельная продукция водных беспозвоночных. Киев: Наукова Думка; 1972.
10. Заика ВЕ. Сравнительная продуктивность гидробионтов. Киев: Наукова Думка; 1983.
11. Зинченко ТД, Розенберг ГС. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника). Тольятти: РИО ИЭВБ РАН; 2022.
12. Ивлев ВС. Экспериментальная экология питания рыб. М.: Пищепромиздат; 1955.
13. Макрушин АВ, Голубков СМ, Асанова ТА, Богомазова МВ. Состояние пищеварительной железы Unionidae (Mollusca, Bivalvia) – показатель степени антропогенного загрязнения акватории. Гидробиол. журн. 2011;47(2):51-4.
14. Меншуткин ВВ. Имитационное моделирование водных экологических систем. СПб.: Наука; 1993.
15. Меншуткин ВВ. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск; 2010.

16. Протасов АА. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академперіодика; 2011.
17. Сушня ЛМ. Количественные закономерности питания ракообразных. Минск: Наука и техника; 1975.
18. Шульман ГЕ, Урденко СЮ. Продуктивность рыб Черного моря. Киев: Наукова думка; 1989.

Общий список литературы/Reference List

1. Alimov AF. Funktsionalnaya Ekologiya Presnovodnykh Dvustvorchatykh Molluskov [Functional Ecology of Freshwater Bivalves]. Leningrad: Nauka; 1981. (In Russ.)
2. Alimov AF, Bogatov VV, Golubkov SM. Produksionnaya Gidrobiologiya [Production Hydrobiology]. Saint Petersburg: Nauka; 2013. (In Russ.)
3. Balushkina YeV. Funktsionalnoye Znachenіye Lichinok Khirominid v Kontonentalnykh Vodoyemakh [Functional Significance of Chironomid Larvae in Continental Water Bodies]. Leningrad: Nauka; 1987. (In Russ.)
4. Bogatov VV, Fedorovskiy AS. Osnovy Rechnoy Gidrologii i Gigrobiologii [Basics of River Hydrology and Hydrobiology]. Vladivostok: Dalnauka; 2017. (In Russ.)
5. Winberg GG. Intensivnost Obmena i Pischevye Potrebnosti Ryb [Rate of Metabolism and Food Requirements of Fishes]. Minsk: Belorussian State University; 1956. (In Russ.)
6. Winberg GG. [Interdependence of growth and energy metabolism in poikilothermic animals]. In: Zotin AI, Grudnitskiy VA, Klevezal GA, eds. Kolichestvennyye Aspekty Rosta Oorganizmov. Moscow: Nauka; 1975. P. 7–25. (In Russ.)
7. Vinogradov ME. [Biological productivity of oceanic ecosystems]. In: Vinogradov ME, Lappo CC, eds. Novye Idei v Okeanologii. T. 1. Fizika, Khimiya, Biologiya [New Ideas in Oceanology. Vol. 1. Physics, Chemistry, and Biology. Moscow: Nauka; 2004. P. 237–63. (In Russ.)
8. Golubkov SM. Funktsionalnaya Ekologiya Lichonok Amfibiotsicheskikh Nasekomykh. [Functional Ecology of Aquatic Insect Larvae]. Saint Petersburg: ZIN RAN; 2000. (In Russ.)
9. Zaika VYe. Udelnaya Produktsiya Vodnykh Bespozvonochnykh [Specific Productivity of Aquatic Invertebrates]. Kyiv: Naukova Dumka; 1972. (In Russ.)
10. Zaika VYe. Sravnitsalnaya Produktivnost Gidrobiontov. [Comparative Productivity of Hydrobionts]. Kyiv: Naukova Dumka; 1983. (In Russ.)
11. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Gidrobiologiya 20-kh Godov XX Veka (Retrokhronika). Tolyatti: RIO IEVB RAN; 2022. (In Russ.)
12. Ivlev VS. Eksperimentalnaya Ekologiya Pitaniya Ryb. Moscow: Pishchepromizdat; 1955. (In Russ.)
13. Makrushin AV, Golubkov SM, Asanova TA, Bogomazova MV. [The state of the digestive gland of Unionidae (Mollusca, Bivalvia) as an indicator of the degree of anthropogenic pollution of water basin]. Gidrobiologicheskii Zhurnal. 2011;47(2):51–4. (In Russ.)
14. Menshutkin VV. Imitatsionnoye Modelirovaniye Vodnykh Ekologichaskikh Sistem [Simulational Modeling of Aquatic Ecological Systems]. Saint Petersburg: Nauka; 1993. (In Russ.)
15. Menshutkin VV. Iskusstvo Modelirovaniya (Ekologiya, Fiziologiya, Evoliutsiya) [The Art of Modeling (Ecology, Physiology, and Evolution)]. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tsentr RAN; 2010. (In Russ.)
16. Protasov AA. Zhizn v Gidrosfere. Ocherki po Obshchey Gidrobiologii. Kiev: Akademperiodika; 2011. (In Russ.)
17. Sushchenya LM. Kolichestvennyye Zakonomernosti Pitaniya Rakoobraznyh. Minsk: Nauka i Tekhnika; 1975. (In Russ.)
18. Shulman GYe, Urdenko SYu. Produktivnost Ryb Chernogo Moria. Kiev: Naukova Dumka; 1989. (In Russ.)
19. Bogatov VV, Sushchik NN, Makhutova ON, Kolmakova AA, Gladyshev MI. Allochthonous and autochthonous food sources for zoobenthos in a forest stream. Russ J Ecol. 2021; 52(3):253–6.
20. Broeg K, Westernhagen HV, Zander S, Körting W, Koehler A. The "Bioeffect Assessment Index" – A concept for the quantification of effects of marine pollution by an integrated biomarker approach. Mar Pollut Bull. 2005;50(5):495–503.
21. Dgebuadze YuYu, Gladyshev MI. Biotic fluxes of matter and energy between aquatic and terrestrial ecosystems. Contemp Probl Ecol. 2016;9(4):391–5.
22. Elliott M. Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern. Mar Pollut Bull. 2003;46:275–80.
23. Golubkov SM. Effect of climatic fluctuations on the structure and functioning of ecosystems of continental water bodies. Contemp Probl Ecol. 2021;14(1):1–10.
24. Golubkov S, Golubkov M, Tiunov A. Anthropogenic carbon as a basal resource in the benthic food webs in the Neva Estuary (Baltic Sea). Mar Pollut Bull. 2019;146:190–200.
25. Golubkov SM, Kotelnikova VS, Pozdeev IV. Abundance and feeding mode of Russian spiralin, *Alburnoides rossicus*, in the rhithral and potamal of Eastern European Rivers. Environ Biol Fish. 2022. DOI: 10.1007/s10641-022-01292-y
26. Golubkov S, Tiunov A, Golubkov M. Food-web modification in the eastern Gulf of Finland after invasion of *Marenzelleria arctica* (Spionidae, Polychaeta). NeoBiota. 2021;66:75–94

27. Håkanson L, Boulion VV. The Lake Foodweb – Modeling Predation and Abiotic/Biotic Interactions. Leiden: Backhuys Publishers; 2002.
28. O'Sullivan PE, Reynolds CS (eds.). The Lake Handbook. Volume 2. Lake Restoration and Rehabilitation. Oxford: Blackwell Publishing; 2005.
29. Zinchenko TD, GladyshevMI, Makhutova ON, Sushchik NN, Kalachova GS, Golovatyuk LV. Saline rivers provide arid landscapes with a considerable amount of biochemically valuable production of chironomid (Diptera) larvae. Hydrobiologia. 2014;722(1):115-28.

