

В статье рассматриваются темы, связанные с ролью химических веществ в биосфере, взаимодействием химических веществ и организмов. Автор анализирует некоторые факты, которые позволяют лучше увидеть и положительную, и отрицательную роль химических веществ - их участие в поддержании и нарушении механизма биосферы.

О ФУНКЦИЯХ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ

С. А. Остроумов

Природные вещества - носители информации и регуляторы в экологии популяций. Природные химические вещества часто выступают в роли носителей информации, химического языка, на котором говорят живые организмы. В качестве эпиграфа к этой части статьи могут служить строки Ш. Бодлера:

Природа - некий храм, где от живых колонн
Обрывки смутных фраз исходят временами. Как в
чаще символов, мы бродим в этом храме И
взглядом родственным глядит на смертных он.

Яркий пример таких веществ - феромоны (от греч. "несу", "привожу в движение"). Термин предложен в 1959 г. в работах П. Карлсона и М. Люшера. Одним из первых в чистом виде выделен (и установлено его химическое строение) половой феромон самки тутового шелкопряда (*Bombix mori*) - бомбикол. Одна самка содержит всего лишь около 1.5 мкг бомбикола, но это микроскопическое количество играет огромную роль в экологии популяций бабочек. Теоретически такого количества достаточно, чтобы возбудить более 1 млрд. самцов. С учетом того, что один самец весит порядка 1 г, получается 1 млн. кг биомассы самцов, то есть 1 тыс. т чешуекрылых, возбужденных самым могучим из инстинктов и охваченных жадной продолжения рода! Исследо-

вания структуры бомбикола провел Адольф Фридрих Бутенандт, лауреат Нобелевской премии по химии 1939 г.

Феромоны и близкие им вещества с разных точек зрения изучались в нашей стране многими учеными. Академик В.Е. Соколов организовал исследования в этом направлении в Институте проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. Академик А.С. Исаев разработал феноменологическую теорию динамики численности лесных насекомых, основанную на принципах стабильности подвижных экологических систем, которая существенно учитывает роль феромонов [1]. Среди авторов публикаций по феромонам - К.В. Лебедева, В.А. Миняйло, Ю.Б. Пятнова, С.Н. Новиков, Э.П. Зинкевич, М. Барбье и многие другие. Ю.П. Козлов и Т.М. Дмитриева с сотрудниками изучали феромоны рыб Байкала. Развивается новое направление - сенсорная экология [2]. Большое практическое значение имеет использование феромонных ловушек для мониторинга динамики численности насекомых. Перспективно использование феромонов в качестве компонента интегрированной системы защиты растений и экологически обоснованной системы ведения сельского хозяйства. Этим вопросам посвящены труды члена-корреспондента РАН А.А. Жученко [3].

За время изучения феромонов выяснились многие факты, изменившие научный взгляд на это явление. К настоящему времени устарело и прежнее определение этого термина. В 2001 г. мы предложили новое: "Феромонами называются индивидуальные вещества или их смеси (комплексы, наборы, комбинации), которые выделяются организмами во внешнюю среду (воздушную, водную среду, либо на внешнюю поверхность организмов) и несут функции сигнала, передачи информации, воздействия на восприимчивых их особей обычно того же биологического вида; феромоны могут вызывать определенную реакцию (касающуюся поведения, физиологических процессов, процессов развития) у



воспринимающих их особей; феромоны могут воздействовать как стимулы, активизирующие ту или иную реакцию, либо, напротив, как ингибиторы, подавляющие те или иные формы поведения или физиологические процессы у воспринимающих их особей" [4].

Здесь, на наш взгляд, подчеркивается важность той информации о феромонах, которая не была учтена в классическом определении, данном Карлсоном и Люшером. Для многих видов организмов феромонами являются именно сложные комплексы, "букеты" веществ - это особенно часто встречается в природе. В новом определении опущено указание на то, что феромоны вырабатываются тем организмом, который их выделяет. Есть другие примеры: животные могут использоваться в качестве феромонов вещества, содержащиеся в их пище, в этом случае они не синтезируют молекулы феромонов. Кроме того, в качестве феромонов выступают и вещества, вырабатываемые микроорганизмами, ассоциированными с животным. Доказано, что феромоны поступают не только в воздушную среду (как было установлено в ранних исследованиях), но и в водную.

В новом определении говорится, что феромоны могут поступать на внешнюю поверхность организма. Для биологии некоторых видов - это существенная особенность. Подчеркивается, что феромоны способны не только стимулировать определенные реакции, но и ингибировать (подавлять, блокировать) их. Указывается также, что воспринимающие организмы обычно относятся к тому же биологическому виду. Слово "обычно" - новое в этом контексте, поскольку появятся данные, что феромоны иногда выполняют функцию химического оружия, нарушая химическую коммуникацию других, конкурирующих видов (в этом случае феромоны воспринимаются другим видом).

У млекопитающих феромоны и химическая коммуникация наиболее подробно изучены на примере мышей, причем особенно детально - воздействие феромонов на состояние их гормональной системы. От выработки гормонов зависит протекание эстрального цикла - периодически повторяющихся изменений во влагалище половозрелых самок, соответствующих циклическим процессам в яичниках и матке. Копуляция и оплодотворение происходят именно на той стадии цикла, которая соответствует концу проэструса (предтечки) и эструсу (течке).

У мышей описан так называемый эффект Уиттена, который заключается в следующем. Запах мочи самцов действует на самок так, что у них стимулируется (ускоряется) и синхронизируется эстральный цикл (запах мочи кастрированных самцов не обладает таким действием). Эффект

наблюдается, даже если самцы были отгорожены от самок сеткой, то есть достаточно было именно запаха. Работами группы М. Новотны [5] показано, что действующим компонентом мочи является вещество дегидро-э/сзо-бrevикомин, выступающее в данном случае как феромон.

Еще в 1955 г. был описан эффект Ли-Бут (по имени авторов открытия). При групповом содержании самок мышей в клетках эстральный цикл у них замедляется (удлиняется диэструс, то есть стадия межтечки, обусловленная низким уровнем эстрогенов в крови) и может полностью остановиться. Оказалось, что в моче этих животных содержится несколько летучих соединений, которые вызывают задержку эструса. Наиболее важным среди них, как выяснилось в 1990-е годы, оказалось шестичленное гетероциклическое азотистое соединение 2.5-диметилпиперазин. Удаление его из смеси компонентов экстракта мочи приводило к исчезновению эффекта Ли-Бут [6].

Изучение феромонов, химической коммуникации и поведения грызунов заставляет задуматься о возможности аналогичных явлений у других млекопитающих, включая человека. Интересно, что описанный выше эффект перекликается с наблюдениями в закрытых женских колледжах, показавшими задержку менструального цикла у тех девушек, которые находились в группах студенток, где никто не встречался с мужчинами в течение длительного времени. Дальнейшие исследования прольют свет на многие интересные факты и особенности поведения, в том числе, возможно, на загадку долголетнего сладострастия китайских императоров, которые, по свидетельству историков, для повышения потенции пили мочу девственниц.

Наряду с феромонами существует еще несколько категорий химических веществ, выполняющих сигнальную или регуляторную функцию. Каких-то общепринятых определений, касающихся таких веществ, не было, поэтому мы предложили некоторые обобщающие термины.

Экологические хемомедиаторы - природные химические вещества, служащие посредниками в контактах между организмами, носителями информации при передаче сигналов от одного организма к другому. К ним относятся половые и агрегационные феромоны и другие вещества.

Экологические хеморегуляторы - вещества, которые регулируют поведение, физиологию, развитие организмов. К ним относятся многие феромоны, например, продуцируемые единственной размножающейся самкой в улье пчел и гнезде муравьев - вещества, которые модифицируют физиологию и поведение других самок в такой степени, что они теряют репродуктивные функции. К примеру, пчелиная матка вырабатывает так называемое царское вещество, куда входит

9-кето-2-гаранс-деценовая кислота, подавляющая развитие яичников у других самок и выполняющая иные функции [7]. В эту категорию входят и вещества растений, которые воздействуют на животных фитофагов (в том числе насекомых) таким образом, что нарушается их онтогенез и репродуктивная функция. Можно назвать и вырабатываемые растениями вещества, действующие как ингибиторы на другие виды растений. Они выполняют функцию природных гербицидов, с помощью которых растения борются друг с другом и конкурируют за место под солнцем.

Экологические хемозффекторы - наиболее широкое название, применяемое ко всем веществам, оказывающим тот или иной экологически значимый эффект на живые организмы. Термин может прилагаться и к природным, и к антропогенным веществам.

Упомянутые выше вещества имеют огромное практическое значение для сельского хозяйства. Именно они позволяют меньше использовать пестициды и перейти к применению более избирательно действующих, менее токсичных и легко распадающихся в почве и воде соединений [3, 7].

Синтетические химические вещества - ксенобиотики и опасность нарушения экологических процессов. Количество синтетических химических веществ постоянно увеличивается: еще в 1990 г. оно превысило 6 млн. и продолжает расти - приблизительно на 5% ежегодно. По некоторым оценкам, за неделю синтезируется около 6 тыс. новых веществ, причем только в США - более 100 тыс. в год, для СССР аналогичная цифра составляла около 40 тыс. Потенциальными канцерогенами считаются почти 25 тыс. веществ. Сравнительно полные экологические и токсикологические испытания проведены лишь для нескольких тысяч из них.

В биосфере распространяются загрязняющие вещества, поступающие в почву, атмосферу и воду. Далее мы сфокусируем внимание на одном из их конкретных видов - поверхностно-активных веществах (ПАВ), рассматривать которые будем прежде всего с точки зрения ущерба для водной среды. В литературе отмечается, что синтетические ПАВ (СПАВ) плохо разрушаются в сооружениях биологической очистки [8]. В России их поступление в сточные воды составляет около 2.5 г в сутки на одного жителя - это значительная величина. Масштабы нарушения качества воды при применении СПАВ велики и продолжают расти. Характерной в этом отношении была ситуация с загрязнением реки Москвы в 1990-е годы. Вместе с тем изученность этих веществ с точки зрения их потенциальной опасности пока крайне недостаточна.

Мы изучали реагирование на СПАВ различных организмов, представителей основных тро-

фических уровней в водной экосистеме. Поскольку СПАВ - широкая группа разнообразных по строению веществ, исследовалось воздействие представителей нескольких классов. Они включали в себя как индивидуальные вещества, так и ПАВ-содержащие смесевые препараты. Разработанные и апробированные нами методы оказались полезными и при исследовании биологической активности других веществ и образцов воды.

Методы исследования соответствовали специфике отобранных организмов. Для их культивирования, как правило, использовали стандартные среды (в случае необходимости модифицировались и среды, и методы). В некоторых опытах нужно было подсчитывать число клеток водорослей. В опытах с фильтрацией суспензий водорослей моллюсками подсчет числа клеток мы вели с помощью счетчика Култера, а также применяли спектрофотометрические методы. В опытах с моллюсками (их собирали в реках России, в Атлантическом океане у берегов Южной Англии, а также работали с мидиями и устрицами, выращенными в аквакультурном хозяйстве Института биологии южных морей НАН Украины) использовали идеи и подходы К.А. Воскресенского, А.В. Митина и исследователей Плимутской морской лаборатории (Великобритания), в опытах с пиявками - методики, разработанные Б.А. Флеровым в Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран Восточной Европы утвердило список объектов и методов для биологических исследований качества вод. В него вошел нетрадиционный, но полезный объект - проростки покрытосеменных растений. Изучая их, мы опирались на методы, разработанные В.Б. Ивановым, а также консультировались с А.М. Гродзинским в Ботаническом саду НАН Украины. В работе с конкретными объектами нам помог методический опыт сотрудников МГУ.

Изучалось воздействие СПАВ и СПАВ-содержащих препаратов на бактерии и цианобактерии, диатомовые и зеленые водоросли, жгутиковые, высшие растения и беспозвоночные (аннелиды, легочные и двустворчатые моллюски и др.). В результате было выявлено ингибирование жизнедеятельности многих из них [9, 10, 11].

Особенно важен раздел работ, посвященных моллюскам. Двустворчатые моллюски отфильтровывают из воды значительные количества взвесей, содержащих углерод, фосфор, азот, и осаждают их в составе пеллет на дно водоемов. Тем самым ускоряется вертикальный перенос этих важных элементов через водные экосистемы.

Количество углерода во взвешях, которые отфильтровывают моллюски на площади 1 м² за год, составляет для многих морских и эстуарных (прибрежных в районе устьев рек) участков от 41

до 264 г. В тех случаях, когда популяции двустворчатых моллюсков подорваны избыточным промыслом, эти цифры значительно ниже. Так, в Че-запикском заливе (США), где много лет велся промысел устриц и плотность популяций моллюсков уменьшилась в несколько раз, сейчас упомянутая величина - всего 4.9 г, то есть по крайней мере в 10 раз меньше [12]. Еще один показатель того, как интенсивно идет процесс очищения воды от взвешенного вещества и связанный с этим процесс изъятия из воды органических взвесей и их осаждение на дно, - время, за которое моллюски профильтровывают весь объем водоема (залива, прибрежного мелководья, эстуария). Оно составляет для ряда морских и эстуарных экосистем от 0.7 до 5.8 дня. Аналогичные цифры получены для многих пресноводных экосистем (реки, озера), где профильтровывается от 0.1 до 10 м³ воды над 1 м² дна за день.

На примере пресноводных двустворчатых моллюсков фильтрационная активность водных организмов была детально изучена академиком А.Ф. Алимовым [13], роли планктонных ракообразных посвящены работы академика Л.М. Су-щени [14].

Каковы же результаты воздействия ПАВ и смесевых препаратов на моллюсков и есть ли какие-то общие закономерности биологических эффектов этих химических веществ в отношении других гидробионтов? И пресноводные, и морские моллюски, в том числе мидии (*Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*) и устрицы (*Crassostrea gigas*), реагировали снижением скорости фильтрации воды [9]. Нарастание концентрации ПАВ приводило к закономерному нарастанию степени инги-бирования скорости фильтрации. Основной характер действия ПАВ сохранялся неизменным в разные отрезки времени. Различия между контролем и опытом при воздействии ПАВ на фильтрацию воды были статистически значимы.

Наряду с бентосными организмами, которые обитают на дне водоемов и фильтруют воду в придонных слоях водных экосистем, изучали и планктонные, которые фильтруют всю толщу водного столба. Например, при исследовании нескольких видов коловраток нами совместно с Н.В. Карташовой и немецким ученым Н. Валь-цем было установлено, что ПАВ подавляют функционирование и этих организмов. Фильтрационная активность гидробионтов в силу своих масштабов имеет большое значение для водных экосистем, для формирования качества воды, для самоочистительного потенциала водоемов и поддержания многих структурно-функциональных параметров водных экосистем.

Важный вопрос о соотношении биологических эффектов в кратковременных опытах и при хроническом воздействии изучался в Плимутской

морской лаборатории. Была выявлена устойчивая корреляция: привыкания моллюсков к хроническим воздействиям не обнаружено. Кроме того, наши опыты показали, что при воздействии ПАВ нарушается не только фильтрация воды, но и поведение личинок двустворчатых моллюсков. По данным литературы, хроническое воздействие ПАВ ведет к тому, что снижается скорость роста и личинок, и взрослых особей.

Таким образом, биологические эффекты ПАВ могут быть опасными для самоочистительного потенциала водоемов и угрожать дисбалансом в трофических цепях.

Экология самоочищения воды и некоторые эколого-экономические подходы. Сопоставление статистических сведений о суммарном водопо-треблении в Российской Федерации в 1996 г. и величине валового внутреннего продукта (ВВП) показывает, что на 1 долл. ВВП у нас потреблялось 0.117 т пресной воды. Для сравнения: в СССР в 1990 г. потреблялось 0.09 т, в ФРГ в 1985 г. - 0.006 т, в Швеции в 1985 г. - 0.032 т [15]. Если принять в качестве приблизительной оценки, что стоимость 1 т воды, как это имеет место в ряде стран, составляет около 2-3 долл. (возможны и другие оценки, но важен порядок величины), можно рассчитать, что 1 долл. ВВП в России соответствует около 0.234-0.351 долл. стоимости пресной воды, изъятая из гидросферы (значительная часть - из поверхностных пресных водоемов) и использованной в сфере экономики. Обычно для водозабора стремятся использовать пресную воду наиболее высокого качества, а качество воды - результат самоочищения. Таким образом, природные процессы самоочищения, в том числе биологические, зависящие от гидробионтов, обеспечивают до 23-35% величины ВВП нашей страны (возможны корректировки этих цифр в ту или иную сторону). Для сравнения: аналогичный способ расчета для экономики Швеции приводит к величине около 6-10%, что тоже немало.

Для экономической оценки активности природных донных фильтраторов можно прибегнуть к следующим данным. Известно, что стоимость технического устройства - фильтровальной установки для искусственных бассейнов, выпускаемой одной из фирм Германии, с производительностью насоса 3.5 м³/ч составляет 400 долл., производительностью 25 м³/ч - 6700 долл. По оценкам, в результате деятельности двустворчатых моллюсков за сутки над 1 м² поверхности дна освещается столб воды от 0.1 до 10 м³. Принимая 1 м³ в качестве средней величины, получаем, что осветление (фильтрация) 3.5 м³ воды за час осуществляется донным сообществом моллюсков, обитающих на площади 84 м², а 25 м³ - на 600 м². Следовательно, фильтрационная активность нарушенного сообщества моллюсков-фильтрато-

Концепция уровне-блочного подхода к анализу экологической опасности антропогенных нарушений биоты

Уровни нарушений	Примеры нарушений и их последствий (некоторые из них могут относиться к нескольким уровням)
Уровень индивидуальных и популяционных откликов	Токсические эффекты на отдельные виды организмов (увеличение смертности, снижение плодовитости, нарушения онтогенеза, патологии и др.); изменение variability морфологических и физиологических показателей; изменение поведения особей
Уровень агрегированных (обобщенных, суммарных надорганизменных) откликов	Изменение первичной продуктивности; изменение агрегированных (суммарных) показателей биомассы групп видов; изменение концентрации хлорофилла в водной среде; изменение концентрации растворенного кислорода
Уровень устойчивости и целостности экосистемы	Перестройки и/или ослабление связей между планктоном и бентосом; перестройки и/или ослабление связей в трофической сети Изменение уровня бактериальной деструкции; снижение осветления/изъятия частиц из воды; нарушение процессов самоочищения водных экосистем Снижение регуляторных воздействий при выпадении, уходе или трофической пассивности организмов высших трофических уровней
Уровень вклада сообщества (экосистемы, биогеоценоза) в биосферные процессы	Изменение потоков углерода (например, седиментация пеллет, образуемых фильтраторами), потоков азота (изменение уровня азотфиксации), потоков и циклов других элементов, в том числе серы и фосфора; изменение потоков энергии (тепловой и др.)

ров на площади 84 м² соответствует мощности фильтровальной установки стоимостью 400 долл., а на площади 600 м² - 6700 долл. (причем это самые скромные оценки, не включающие дополнительные эксплуатационные расходы технических устройств).

Следовательно, нарушение природных процессов самоочищения воды, примером которых является фильтрационная активность гидробионтов, рассмотренная выше, имеет большое значение и оценивается внушительными цифрами потенциального экономического ущерба. Возможность разлаженности в этих природных процессах и их подавления представляет собой не только экологическую, но и экономическую опасность.

Некоторые следствия для фундаментальной науки и ее приложений. Разнообразие воздействий химических веществ-ксенобиотиков и установленных биологических эффектов, множество аспектов их экологической значимости для водных и наземных экосистем порождают стремление к их систематизации. Попытка продвинуться в этом направлении привела к уровне-блочному подходу. Он заключается в том, что антропогенное воздействие на гидробионты анализируется в плане четырех уровней возможных нарушений (таблица). Представляет интерес попытка использовать эту концепцию для рассмотрения и анализа новых фактов.

Среди проведенных опытов были эксперименты на высших растениях и эвгленах (простейшие класса жгутиковых). Они показали, что обе группы сравнительно более устойчивы к ПАВ, чем мно-

гие другие организмы, использованные в качестве тест-объектов. Поэтому перспективный путь решения проблемы загрязнения среды такими веществами может быть основан на применении растений для создания искусственных экосистем, выполняющих функции экологического (биоэкологического) фильтра или биологической установки по обработке вод, загрязненных СПАВ и детергентами. Такой подход называется фиторемедиацией, что означает лечение и восстановление природной среды с помощью растений.

За длительный период нашей работы воздействию одних и тех же веществ подвергались самые разнообразные организмы. Это дало возможность сопоставить относительную чувствительность к ПАВ представителей различных трофических звеньев пищевой цепи водных экосистем. Выявилось, что представители автотрофного звена (в том числе одноклеточные организмы фитопланктона) сравнительно более устойчивы в плане фильтрационной активности, чем представители следующего трофического звена. Применяя синэкологический подход к анализу этой ситуации, основанный на включении в рассмотрение системы взаимодействующих видов, удалось выявить опасность таких нарушений в биоте, какие не выявлялись ранее, когда исследование ограничивалось в рамках традиционного мышления, ограниченного рассмотрением экологии одного вида. Благодаря синэкологическому подходу стало возможным сформулировать следующие новые концепции.

Опыты по воздействию химических веществ на функциональную активность организмов (вод-

ных беспозвоночных) позволили глубже понять роль этих организмов в сети взаимодействий с другими организмами (в пищевой сети). На этой основе мы разработали концепцию ингибиторно-го анализа взаимодействия организмов в пищевой сети. Она перекликается с концепцией ингиби-торного анализа, с успехом использованной в эн-зимологии и биохимии как ферментов, так и надмолекулярных структур.

Не ограничиваясь традиционным анализом последствий воздействия химического загрязнения на организмы одного вида (рассматриваемого изолированно от экосистемы), мы изучали таковые же последствия для организмов двух взаимосвязанных трофических уровней. Выявились, например, ситуации, когда одно и то же загрязняющее вещество влияет на организмы двух сопряженных трофических уровней так, что результаты воздействия не просто суммируются, а один усиливает другой и создается угроза радикального нарушения баланса связей в экологической системе [16].

Практическим приложением этих идей стала разработка нового подхода к борьбе с опасным явлением - эвтрофированием. Обычно оно рассматривается в связи с нарушением поведения фитопланктонного блока водной экосистемы: в результате антропогенного повышения концентрации фосфора и азота в водоеме бурно растут водоросли ("цветение" воды). Включение в анализ такого фактора, как воздействие химических веществ на организм следующего трофического уровня, и использование упомянутых выше теоретических разработок позволяет найти новые подходы для предупреждения эвтрофирования [17].

Исключительная важность водных организмов - фильтраторов воды подтверждается и новейшими исследованиями. В этой связи не может не вызывать беспокойства состояние их популяций. И в России, и во многих странах Европы и Северной Америки пресноводные двустворчатые моллюски - среди наиболее уязвимых видов беспозвоночных. В Красную книгу Российской Федерации включены более 30 таксонов двустворчатых моллюсков. Отмечается неблагоприятное состояние популяций многих видов пресноводных моллюсков в бывших республиках СССР, а также в США. Поэтому мы считаем необходимым создание специальных природных участков - мала-кологических заповедников и заказников, одной из основных задач которых должна стать охрана активно функционирующих популяций двустворчатых моллюсков. Предлагаем новую концепцию природоохранного режима таких территорий и акваторий. Его цель - сохранение не только генофонда этих организмов как видов, как части биоразнообразия, но и уровня функциональной (фильтрационной) активности природных популяций как части механизма биосферы. Нами

опубликована детальная система принципов природоохранного режима для сохранения популяций фильтраторов в малакологических заказниках и заповедниках [18].

* * *

Итак, химические вещества в биосфере могут выступать в двойной роли - как факторы ее стабилизации и дестабилизации. Экологические хе-морегуляторы и хемомедиаторы, исполняющие положительную функцию регуляции экологических процессов, - важный потенциальный инструмент для корректного и избирательного воздействия на популяции и экосистемы, что перспективно и имеет практическое значение для сельского хозяйства и, возможно, для аквакультуры. Они служат одним из типов материальных носителей информации в тех информационных потоках в биосфере, которые являются, согласно предложенному нами определению фундаментальных понятий экологии, неотъемлемой частью структурно-функциональной организации экосистем и биогеоценозов.

Воздействие же на организмы загрязняющих веществ, ксенобиотиков должно оцениваться на основе более тонкого, чем ныне практикуется, подхода. Если раньше оценка их опасности основывалась преимущественно на летальных эффектах, то теперь необходимо учитывать и те, которые не вызывают прямую гибель организмов, но нарушают, например, способность экосистем к самоочищению и самоподдержанию. Особого внимания заслуживает такая благородная и ценная для биосферы группа организмов, как фильтраторы воды. Их функционирование, как показали наши исследования, особенно уязвимо и заслуживает первоочередной охраны.

Полученные результаты могут быть использованы в таких практически важных областях, как борьба с загрязнением и эвтрофированием, сохранение биоразнообразия водных организмов, а также послужить экологически более правильной трактовке некоторых важных понятий природоохранного законодательства РФ. В нескольких законах неоднократно встречаются понятия "экологический ущерб", "ущерб экосистемам", "негативное воздействие на окружающую среду" и т. д. До сих пор эти выражения ассоциировались в основном с истреблением организмов, с повышением их смертности. Наши данные указывают на необходимость включения в эти понятия и более тонких, сублетальных воздействий.

Главное же в том, что настало время дополнить тот классический список функций живого вещества, который был сформулирован В.И. Вернадским (туда входили такие функции, как газовая, концентрационная и др.), еще одной, важнейшей - стабилизации механизма биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев А.С. и др.* Популяционная динамика лесных насекомых. М.: Наука, 2001.
2. *Дмитриева Т.М.* Основы сенсорной экологии. М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1999.
3. *Жученко А.А.* Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI веке. Саратов: РАСХН, 2000.
4. *Остроумов С.А.* Детализация понятий биохимической экологии: новое определение термина "феромон" // *Ecological Studies, Hazards, Solutions*. 2001. Т. 5.
5. *Moss R., Flynn R., Shen Xi-Ming e. a.* Urinederived compound evokes responses in mouse vomeronasal receptor neurons // *Journ. Neurophysiol.* 1997. V. 77 (5).
6. *Ma W., Miao Z., Novotny M.V.* Role of the adrenal gland and adrenalmediated chemosignals in supression of es-trus in the house mouse: the lee-boot effect revisited // *Biol. Reprod.* 1998. V. 59(6).
7. *Телитченко М.М., Остроумов С.А.* Введение в проблемы биохимической экологии: биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. М.: Наука, 1990.
8. *Жмур НС.* Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Луч, 1997.
9. *Остроумов С.А.* Биологические эффекты при воздействии поверхностно-активных веществ на организмы. М.: МАКС-Пресс, 2001.
10. *Остроумов С.А., Колотилова Н.Н.* Рост циано-бактерий в присутствии ПАВ-содержащих препаратов // *Водные экосистемы и организмы-2*. М.: МАКС-Пресс, 2000.
11. *Айздайчер Н.А.* Отношение динофитовой водоросли *Gymnodinium kovalevskii* к действию детергентов // *Биология моря*. 1999. Т. 25(2).
12. *Dame R.F.* Ecology of Marine Bivalves: an Ecosystem Approach. Boca Raton: CRC Press, 1996.
13. *Алимов А.Ф.* Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука, 1981.
14. *Суценыя Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных. Минск: Наука и техника, 1975.
15. *Дубинина В.Г., Зеликина Л.Ф.* Эколого-экономический анализ использования водных ресурсов России // *ЭКВАТЭК-98*. М., 1998.
16. *Остроумов С.А.* Опасность двухуровневого синергизма при синэкологическом суммировании антропогенных воздействий // *ДАН*. 2001. Т. 380. № 6.
17. *Остроумов С.А.* Синэкологические основы решения проблемы эвтрофирования // *ДАН*. 2001. Т. 381. №5.
18. *Остроумов С.А.* Система принципов для сохранения биогеоценотической функции и биоразнообразия фильтраторов // *ДАН*. 2002. Т. 383. № 5.