

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 574.6:574.635:574.685

# КРИТЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА БИОТУ: ПОИСКИ СИСТЕМЫ

©2000 г. С. А. Остроумов

Представлено академиком В.Н. Большаковым 27.11.98 г.

Поступило 19.03.99 г.

Среди разнообразия антропогенных воздействий на биоту (см. [1-3]) выделяют наиболее важные показатели и критерии, которые характеризуют негативное воздействие антропогенных факторов (см. [3, 4]) и химических веществ в том числе [5-8]. Разработка и систематизация подобных критериев далеко не закончена.

Цель данного сообщения - изложить подходы к совершенствованию системы критериев экологической опасности воздействий на биоту и в этой связи некоторые новые экспериментальные данные о воздействиях на организмы ксенобиотиков из класса поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Критерии для определения экологической опасности веществ разрабатывались в плоскости оценки токсического загрязнения экосистем (см. [1, 2, 4, 6, 8]). В странах Европейского Сообщества сложилась система классификации экологической опасности химических веществ, которая базируется на следующих трех критериях [9].

1. Острая токсичность на основе определения ЛК<sub>50</sub> для трех групп организмов - рыб, водорослей и дафний.

2. Способность вещества к биоразрушению в водной среде. Определяется с помощью лабораторных тестов в аэробных условиях. Разрушение веществ происходит под воздействием микроорганизмов с поглощением O<sub>2</sub>. Если вещество быстро разрушается (окисляется) микроорганизмами, оно не считается опасным для окружающей среды (за исключением случая, когда острая токсичность высока, ЛК<sub>50</sub> менее 10 мг/л, и при этом имеется высокий потенциал для биоаккумуляции - см. следующий критерий).

3. Способность вещества к биоаккумуляции. Считается, что эта способность опасно высока, если фактор биоаккумуляции (BCF) более 100 или если логарифм коэффициента распределения вещества в системе октанол-вода (logP<sub>ow</sub>) более 3.

Указанная система критериев имеет недостаток: происходит недооценка других аспектов эко-

логической опасности попадания вещества в водоем - например, опасности снижения концентрации O<sub>2</sub> в водной среде в результате его поглощения микроорганизмами при окислении ксенобиотиков. Из сферы внимания вышеприведенной системы критериев выпадает изменение поведения организмов в результате воздействия загрязняющего вещества на рецепторы организма [1, 10]. Изменение поведения может происходить без биоаккумуляции вещества (т.е. по вышеуказанному критерию 3 такое вещество выглядит неопасным). Изменение поведения организмов может приводить к их уходу из экосистемы (эмиграции), к потере экосистемой особой данного вида и снижению биоразнообразия.

Следовательно, необходимо продолжать поиск более полных систем критериев.

В работах [3, 11, 12] классификация антропогенных воздействий на живую природу проведена на основе концепции уровней организации живой материи. Развивая этот подход, мы предлагаем систему, которая упорядочивает разнообразие эффектов, связанных с антропогенным воздействием на биоту (табл. 1).

Особенностью системы критериев, изложенной в табл. 1, является сведение в четыре упорядоченных группы большого числа антропогенных воздействий на биоту. Антропогенные воздействия подразделяются в соответствии с четырьмя уровнями нарушений биоты. Большинство традиционных токсичных эффектов (увеличение смертности, нарушения онтогенеза и патологии органов и т.д.) попадает в группу, соответствующую уровню индивидуальных и популяционных откликов (уровень 1). Еще одна группа нарушений и изменений таких параметров, как первичная продуктивность, концентрация хлорофилла в воде и др. соответствует уровню агрегированных откликов (уровень 2). Весьма важны и пока недостаточно охарактеризованы нарушения, относящиеся к уровню устойчивости и целостности экосистем (уровень 3). Сюда входят, в числе прочих, и нарушения способности водных систем к самоочищению (например, [13]), т.е. способности стабильно поддерживать параметры водной среды. Завершает эту систему группа нарушений вклада экосистем в биосферные процессы (уровень 4), в том

\_ Таблица 1. Концепция уровнеблочного подхода к анализу экологической опасности антропогенных

| нарушений биоты |  |  |
|-----------------|--|--|
| №               | Уровень нарушений                                  | Примеры нарушений и их последствий (некоторые из них могут относиться к нескольким уровням)  |
| 1               | 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  |
| 2               | Уровень агрегированных (надорганизменных) откликов | Изменение первичной продуктивности; изменение агрегированных показателей биомассы; изменение концентрации хлорофилла в водной среде; изменение концентрации растворенного O <sub>2</sub>   |
| 3               | Уровень устойчивости и целостности экосистемы      | Перестройки и/или ослабление связей между планктоном и бентосом; перестройки и/или ослабление связей в трофической сети<br>Изменение уровня бактериальной деструкции; снижение осветления/изъятия частиц из воды; снижение самоочищения воды<br>Снижение регуляторных воздействий при выпадении, уходе или трофической пассивности организмов высших трофических уровней |
| 4               | Уровень вклада экосистемы в биосферные процессы    | Изменение потоков C (например, седиментация пеллет, образуемых фильтраторами), потоков N (например, изменение уровня азотфиксации), потоков и циклов других элементов, в том числе S и P; изменение потоков энергии (тепловой и др.)   |

числе в биогеохимические потоки элементов, например, C, N, P и S.

Подобный подход согласуется с работами других авторов [6, 14] и полезен при разработке максимально адекватной системы критериев и приоритетов для оценки и классификации экологической опасности антропогенных воздействий, в числе экологической опасности загрязняющих веществ.

В предложенной системе анализа экологической опасности должно место занимает опасность воздействия на устойчивость и целостность экосистемы, примером которой может служить опасность ослабления связи между планктоном и бентосом. Если антропогенное воздействие ослабляет эту связь в экосистеме, то последствия представляются неблагоприятными [13]. Пример – снижение скорости фильтрации воды и изъятия из нее сестона такими фильтраторами, как двусторчатые моллюски, поскольку именно их фильтрационная активность является одним из важных механизмов поддержания планктонно-бентосного сопряжения. Целесообразно выяснить, насколько фильтрационная активность моллюсков подвержена воздействию поллютантов.

Фильтрация воды моллюсками, извлечение ими из воды клеток фито- и бактериопланктона и других взвешенных частиц, а также образование и экскреция пеллет фекалий и псевдофекалий важны для процессов, протекающих в водной экосистеме [13]. Вызванное ксенобиотиками ингибирование фильтрации может, в свою очередь, индуцировать другие изменения в экосистеме, соответствующие нарушениям нескольких уровней, которые упоминаются в табл. 1. Примеры подобных нарушений: снижение скорости фильтрации другими

гидробионтами; снижение прозрачности воды и связанное с этим снижение проникновения ФАР (фотосинтетически активной радиации) и УФ; ухудшение условий обитания фитобентоса; чрезмерный рост концентрации клеток фитопланктона и бактериопланктона; снижение регуляторного воздействия на состав альгобактериального сообщества; увеличение детритообразования и заиления местообитаний донных сообществ; дисбаланс трофической сети консументов фитопланктона; снижение скорости роста популяции фильтраторов; снижение количества личинок-планктофагов и деформация трофической сети; снижение потока C<sub>орг</sub>, поступающего на захоронение в донных осадках; снижение концентрации C<sub>орг</sub> в донных осадках [13].

Важен вопрос о том, могут ли ингибировать фильтрацию ПАВ, которые поступают в водную среду в больших количествах и недостаточно изучены с точки зрения возможных воздействий на организмы [5, 7].

Наши данные, полученные на *Mytilus edulis*, подтверждают возможность нарушения планктонно-бентосного сопряжения при воздействии ПАВ (С.А. Остроумов, П. Донкин). Некоторые ПАВ, например, представитель производных алкилфенолов, неионогенный ПАВ Тритон Х-100 (ТХ), способны ингибировать скорость фильтрации воды и изъятия из нее водорослей мидиями (табл. 2). При концентрации ТХ 0.5 мг/л концентрация клеток водорослей после 90-минутного периода фильтрации составляла 1092 клетки в 0.5 мл воды по сравнению с концентрацией в контроле, равной 532 клетки в 0.5 мл (табл. 2), т.е. превышение (в результате ингибирования фильтрации) было более чем в два раза (составляло 205.3% по отношению к контролю). При увеличении концентрации ТХ до 2 мг/л концентрация клеток после пе-

**Таблица 2.** Число клеток водорослей *Isochrysis galbana* в сосудах с мидиями *Mytilus edulis* после 90-минутного периода фильтрации воды моллюсками при воздействии 0.5 мг/л Тритона X-100 (TX100)

| № сосуда   | Наличие или отсутствие TX100, 0.5 мг/л | Число клеток водорослей в 0.5 мл | Среднее число клеток водорослей в 0.5 мл |
|--|--|----------------------------------|--|
| 1  | +                                      | 427; 451; 468                    | 448.7                                    |
| 3  | +                                      | 335; 338; 362                    | 345                                      |
| 5  | +                                      | 795; 766; 819                    | 793.3                                    |
| 7  | +                                      | 2806; 2743; 2793                 | 2780.7                                   |
| Среднее число клеток для четырех сосудов с ПАВ TX100 (№ 1,3,5,7) |  |                                  | 1091.9 (станд. ошибка 298.3)             |
| 2  | —                                      | 727; 684; 716                    | 709                                      |
| 4  | —                                      | 347; 337; 348                    | 344                                      |
| 6  | —                                      | 359; 398; 456                    | 404.3                                    |
| 8  | —                                      | 638; 659; 716                    | 671                                      |
| Среднее число клеток для четырех контрольных сосудов (№ 2,4,6,8) |  |                                  | 532.1 (станд. ошибка 48.9)               |

Примечание. Оценка значимости различия средних в контроле и опыте (критерий Стьюдента):  $p = 0.044$ ; различие значимо (уровень значимости 95%). Условия. Начальная средняя концентрация клеток на 0.5 мл 13 372. Температура 16°C. Число клеток подсчитывали с помощью счетчика Култера. Средние показания счетчика Култера в фильтрованной морской воде 673.7. В опыте использовали 16 животных массой от 7.2 до 9.2 г (сырая масса с раковинной).

риода фильтрации составила 2635 клеток в 0.5 мл, по сравнению с 556 клетками в 0.5 мл в контроле, т.е. превышение было почти в 5 раз (составило 473.9% по отношению к контролю). Таким образом, ингибирование нарастало при увеличении концентрации ПАВ. Результаты согласуются с данными, полученными при изучении воздействия других веществ [13].

Система критериев, приведенная в табл. 1, упрощает и упорядочивает анализ экологической роли и последствий нарушения конкретной физиологической функции (в данном случае - пример нарушения фильтрации воды моллюсками). Переходя в предложенной системе от уровня к уровню, удобно проследить масштабирование экологических последствий нарушения, первично происходящего на уровне особей, но способного проявить себя в экологически опасной форме на других уровнях организации жизни.

В данном примере непосредственно наблюдаемым результатом воздействия ксенобиотика является изменение физиологической активности организма, но уровень экологической опасности становится более явственным при рассмотрении этого факта с позиций уровня 3 (снижение изъятия сестона из воды, снижение сопряжения между планктоном и бентосом) и уровня 4 (снижение образования и экскреции пеллет, сформированных из отфильтрованных клеток водорослей).

Другие примеры [1, 8, 11, 12, 14] подтверждают эффективность использования предложенной концепции (табл. 1) для анализа экологической опасности антропогенных воздействий на биоту.

Предложенная концепция уровнеблочного подхода к анализу экологической опасности антропогенных нарушений в экосистемах позволяет систематизировать значительное разнообразие антропогенных воздействий на биоту и может использоваться при разработке критериев для оценки и классификации экологической опасности антропогенных воздействий.

Автор благодарит П. Донкина (P. Donkin) за сотрудничество, В.Д. Федорова, О.Ф. Филенко, А.Г. Дмитриеву, Л.Д. Гапочку, А.И. Азовского, В.И. Артюхову, а также Д.А. Криволицкого, А.Д. Покаржевского, Ю.И. Чернова, В.А. Абакумова, А.С. Константинова, А.О. Касумяна за обсуждение работы и замечания. Часть данных получена при финансировании грантом EERO. Работа поддержана MacArthur Foundation.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флеров Б.А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных. Л.: Наука, 1989. 144 с.
2. Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейник Е.Л. Популяционная экотоксикология. М.: Наука, 1994. 81 с.
3. Yablokov A.V., Ostroumov S.A. Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends and Prospects. В.: Springer, 1991. 272 p.
4. Криволицкий Д.А. Почвенная фауна в экотоксикологическом контроле. М.: Наука, 1994. 272 с.
5. Остроумов С.А. Введение в биохимическую экологию. М.: Изд-во МГУ, 1986. 176 с.
6. Филенко О.Ф. Водная токсикология. Черноголовка: Изд-во МГУ, 1988. 156 с.
7. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии. М.: Наука, 1990. 288 с.
8. Малахов В.В., Медведева Л.А. Эмбриональное развитие двустворчатых моллюсков в норме и при воздействии тяжелых металлов. М.: Наука, 1991. 132 с.
9. de Bruijn J., Struijs J. In: Biodegradation Kinetics. Brussels: SETAC-Europe, 1997. P. 33-45.
10. Остроумов С.А. // Водн. ресурсы. 1991. № 2. С. 112-116.
11. Яблоков А.В., Остроумов С.А. Охрана природы: проблемы и перспективы. М.: Леспроездат, 1983, 272 с.
12. Яблоков А.В., Остроумов С.А. Уровни охраны живой природы. М.: Наука, 1985. 176 с.
13. Остроумов С.А., Донкин П., Стафф Ф. // МГУ. Сер. 16. Биология. 1997. № 3. С. 30-36.
14. Строганов Н.С. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Т. 3. Водная экология. М.: ВИНТИ, 1976. С. 5-47.