
ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

© Т.И. МОЙСЕЕНКО, А.Д. ШАЛАБОДОВ, С.Н. ГАШЕВ,
А.В. СОРОМОТИН

moiseenko@geokhi.ru, gsn-61@mail.ru, asoromotin@mail.ru

УДК 574.691/635(075.8)

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ЗНАЧЕНИЕ В РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

АННОТАЦИЯ. Дано определение экотоксикологии как научной дисциплины, изучающей свойства и поведение загрязняющих веществ в природных средах, их воздействие на организмы, популяции и сообщества. Рассмотрена история становления и развития данного направления, сформулированы основные теоретические принципы, показана их значимость для решения практических задач нормирования антропогенного загрязнения окружающей среды.

SUMMARY. The article defines ecotoxicology as a scientific discipline studying properties and behavior of polluting substances in environment, their influence on organisms, population and community. The history of formation and development of the given direction is considered, its basic theoretical principles are formulated. The authors of the article show the importance of these principles for the solution of practical problems of environmental contamination regulation.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Экотоксикология, загрязнение, организмы, популяции, сообщества, нормирование.

KEY WORDS. Ecotoxicology, pollution, organisms, populations, communities, regulation.

Экспоненциальный рост численности населения на планете на настоящем этапе, экстенсивное вовлечение в эксплуатацию минерально-сырьевых ресурсов драматическим образом отразились на состоянии окружающей среды. Лавинообразный рост негативных последствий индустриальной революции проявился особенно отчетливо в середине прошлого столетия. Нарушения природной среды во многих случаях приобрели неуправляемый и необратимый характер. Человечество столкнулось с рядом масштабных антропогенно-индуцированных явлений в региональном и глобальном масштабе (изменение климата, выпадение кислотных осадков, обогащение природных сред металлами, появление новых токсичных синтезированных веществ). Токсичные элементы и вещества — самый опасный вид загрязнения окружающей среды с не исследованными еще до конца отдаленными последствиями для живых систем и человека.

Экотоксикология — это новое научное направление, которое призвано обеспечить науку ключевыми знаниями о законах антропогенных преобразований природы, которые позволят в будущем разрешить противоречия, с одной стороны — между техническим прогрессом человечества, необходимостью обеспечения его продукцией, и с другой стороны — сохранения безопасных условий существования [1].

Становление научного направления

Впервые экотоксикология как одно из научных направлений была выделена Рене Трахаутом (R. Thruhaut) в 1969 г. [2], который сформулировал ее основные задачи: «Изучение влияния природных или синтезированных токсичных веществ на экосистемы, животных (включая и человека), растения и микробные сообщества». Из этого определения ясно, что данная область науки отличается от токсикологии, в фокусе которой — изучение действия токсичных веществ на отдельные организмы в основном в экспериментальных условиях.

Учитывая высокую актуальность знаний для человечества о влиянии опасных веществ на природные системы, экотоксикология привлекла большое количество исследователей: токсикологов, экологов, химиков, геохимиков, биологов, фармакологов, медиков и т.д. Были утверждены новые научные журналы (например, *Ecotoxicology and Environment Safety*) и издан ряд фундаментальных сводок работ, освещающих результаты исследований в этой области. С 1970-х гг. проведены серии совещаний и создан ряд международных объединений, таких как Международная Академия безопасности окружающей среды (*International Academy of Environmental Safety, IAES*) в 1971 г., Международное объединение экотоксикологии и безопасности окружающей среды (*International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety, SECOTOX*) в 1972 г. и другие.

В России в связи с необходимостью установления предельно допустимых концентраций по регламентации содержания опасных веществ в воздухе и в водах в этот период создаются лаборатории, в которых ведутся разносторонние исследования воздействий загрязняющих веществ на живые организмы, разрабатываются методы биотестирования токсичности природных сред. Л.А. Лесников (ГосНИОРХ) [3], имея прикладные задания по разработке ПДК для рыбохозяйственных водоемов, одновременно ведет исследования по изучению влияния загрязняющих веществ на водные организмы в природных условиях. В ряде институтов создаются научные школы, разрабатывающие теоретические и практические аспекты водной токсикологии и экологии: в МГУ (кафедра гидробиологии) под руководством О.Ф. Филенко [4], [5]; в Институте внутренних вод РАН — М.М. Камшилова [6], В.И. Лукьяненко [7], [8], Б.А. Флерова [9]; в Украинской Республике (бывшего СССР) — Л.П. Брагинского [10], В.Д. Романенко и др. В Институте экологии животных и растений Уральского научного центра РАН под руководством В.Н. Большакова изучаются проблемы антропогенной микроэволюции с позиций экотоксикологической парадигмы, в котором В.С. Безель развивает популяционные аспекты экотоксикологии (в приложении к мелким млекопитающим) [11] и О.Ф. Садыков — прикладные аспекты нормирования загрязнения [12].

В 1970-1980-е гг. становление экотоксикологии в России совпадает с развитием этой науки в западных странах, которые, как показывает вышеприведенный анализ научных публикаций, развиваются параллельно. В этот период среди ученых России все большее понимание находит необходимость изучения надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы) биоценологическими методами, включающими анализ структурных и функциональных параметров экосистемы, которое позволяет составить представление о ее возможностях выдерживать пресс токсикантов [10], [6], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]. F. Moriarty [20] определяет основную цель экотоксикологии как «изучение влияния опасных веществ на экосистемы». G.C. Bulter [21] рассматривает экотоксикологию как изучение эффектов выбросов поллютантов на окружающую среду и биоту, которая ее населяет». Walker с соавторами [22] рассматривает экотоксикологию как субдисциплину широкой области исследований — токсикология окружающей среды (environment toxicology), и в этом контексте определяет цель экотоксикологии как «изучение опасных эффектов химических веществ на экосистемы, включая воздействие как на индивидуумы, так и на популяции, сообщества».

Следует отметить, что многие исследования и достижения этого периода в России были недоступны для мирового научного сообщества в связи с жесткой цензурой научных работ, раскрывающих последствия загрязнения окружающей среды. Нельзя было не только публиковать информацию о концентрациях загрязняющих веществ в природных средах, но и представлять характеристику последствий загрязнения и их влияние на биологические системы в естественных условиях. Малодоступны были и результаты иностранных ученых вследствие изоляции ученых СССР и сложности участия в международных симпозиумах и обмена опытом.

Два столетия стремительного технического прогресса привели к тем глубоким изменениям природы, которые мы наблюдаем сегодня. Выделение экотоксикологии в самостоятельную дисциплину произошло более 30 лет назад. Это привело к значимым успехам в познании законов антропогенных преобразований природы, но и дало много заблуждений и малозначимых, временных работ. Экотоксикология, как молодая наука, пока не может до конца предсказать все возможные отсроченные последствия воздействий на окружающую среду токсичных элементов и веществ, и оценить, насколько глубоко видоизменились экосистемы, возможно ли их восстановление [23].

Предмет экотоксикологии и связь с другими науками

Анализ последних публикаций показал, что, несмотря на мнения авторов об истоках происхождения данной дисциплины, экотоксикология определена как научная дисциплина, изучающая судьбу загрязняющих веществ в окружающей среде и их воздействия на организмы, популяции, сообщества и экосистемы [24], [23], [25], [1], [22].

Термин «экотоксикология» происходит от сочетания названий двух научных дисциплин — экологии и токсикологии. Но ограничивается ли эта наука интеграцией только этих дисциплин? Рассмотрим более детально различие и сопряжение научных дисциплин в области водной экотоксикологии.

Экология изучает взаимосвязь между живым системами и их неживым окружением. Иерархический подход дает удобную основу для подразделения

и изучения сложных систем [26], [27], [28], [29], [30]. Токсикологии принадлежит ведущая роль в получении информации о потенциальной опасности от поступающих в водоем токсичных веществ и определении предельнодопустимых концентраций (т.е. лимитирующих значений или критических уровней отдельных загрязняющих веществ). Однако основная масса токсикологических исследований выполнена на организменном уровне. Они отражают экспериментальное изучение воздействия токсичных веществ на организмы различных систематических групп и являются основным звеном в системе обоснования предельно допустимых концентраций (ПДК). В этом плане токсикология широко привлекает физиологические, биохимические, гистологические и другие методы [31], [32], [9], [33], [34], [35], [36], [37], [38].

Однако интерпретация полученных токсикологических данных в экспериментальных условиях для оценки и предсказания последствий действия токсичных веществ в природных условиях затруднительна в силу следующих причин. Экспериментальные животные имеют мало общего с природными популяциями. Дискуссионным является ключевое понятие — существуют или не существуют пороговые значения, насколько они зависят от подопытных организмов и условий эксперимента, в которых они определяются.

В естественных условиях на живые организмы действует комплекс природных факторов, на фоне которых проявляют токсичные свойства те или вещества. К тому же водные системы загрязняются комплексом веществ, которые могут иметь как синергетические, так и антагонистические эффекты. В экспериментальных условиях практически невозможно предусмотреть все сочетание природных условий, на фоне которых происходит действие токсичных веществ.

Вместе с тем именно токсикология, используя физиологические и биохимические методы, дает понимание механизмов токсичного действия на индивидуальные организмы и раскрывает их интернальный метаболизм. Влияние загрязняющих веществ на сообщества и составляющие их популяции не может быть понято без знания индивидуальных ответов. На организменном уровне токсичность выявляется наиболее отчетливо [4]. М.Р. Коehl [39] аргументирует, что изучение процессов на уровне индивидуальных организмов может прояснить процессы на экосистемном уровне. Однако пока мало известно, как изменения низших уровней могут повлечь изменения более высоких, а также каким образом процессы, происходящие в сообществах и экосистеме в целом, отразятся на состоянии низших уровнях организации живого [24].

Из изложенного следует, что объектом водной токсикологии исходно являлся организм, и все большее понимание находила необходимость изучения надорганизменных уровней, где токсичные эффекты могут приобретать другое выражение. В экологии, исследующей взаимодействие организмов с окружающей средой, также была осознана необходимость изучения индивидуальных ответов, как основы для объяснения изменчивости популяций и сообществ. В данном случае трудно провести грань между задачами экологии и токсикологии. J.J. Cains [40] отмечал, что трудно найти другие дисциплины, которые бы более тесно взаимно прорастали и обменивались методами исследований [41].

Синтезированные человеком вещества (ксенобиотики), активированные и рассеянные человеком природные элементы становятся токсичными для

живых организмов. Развитие представления о сложности и многообразии взаимодействий и превращений техногенно-привнесенных элементов в природных средах также является предметом экотоксикологии. F. Moriarty [20], V.E. Forbes, T.L. Forbes [24] подчеркивали, что в экотоксикологии наряду с изучением влияния загрязняющих веществ на популяции, сообщества и экосистемы важная роль отведена анализу структуры и свойств опасных химических веществ, изучению их судьбы в окружающей среде — путей переноса, процессам трансформации, распаду, седиментации и инактивации. Развитие знаний о физико-химических взаимодействиях токсичных веществ как между собой в условиях многофакторного загрязнения, так и с природными факторами тех условий, в которые они попадают, является также важной областью экотоксикологических исследований и необходимо для предсказания воздействия химических веществ на организмы и более высокие уровни организации в природных условиях. Иерархическая схема объектов исследования отражена на рис. 1.



Рис 1. Схема объектов в экотоксикологических исследованиях

Следует подчеркнуть, что не R. Truhaut [2], классифицирующий экотоксикологию как субдисциплину токсикологии, не F. Moriarty [20], классифицирующий ее как субдисциплину экологии, не были во всем точны. Экотоксикология использует методологию и достижения многих наук, привлекает их методы: а) токсикологии — для понимания ответных реакций организма на токсичный стресс, б) физиологии, иммунологии, биохимии — в тех случаях, когда необходимо дать понимание механизмам, ответственных за реакции организмов, в) геохимии (гидрохимии) — для понимания судьбы техногенно-привнесенных элементов и формирования дозы

воздействия; г) экологии для понимания антропогенной изменчивости популяций и в целом экосистем.

Сопряжение научных дисциплин в экотоксикологических исследованиях отражено на рис. 2.

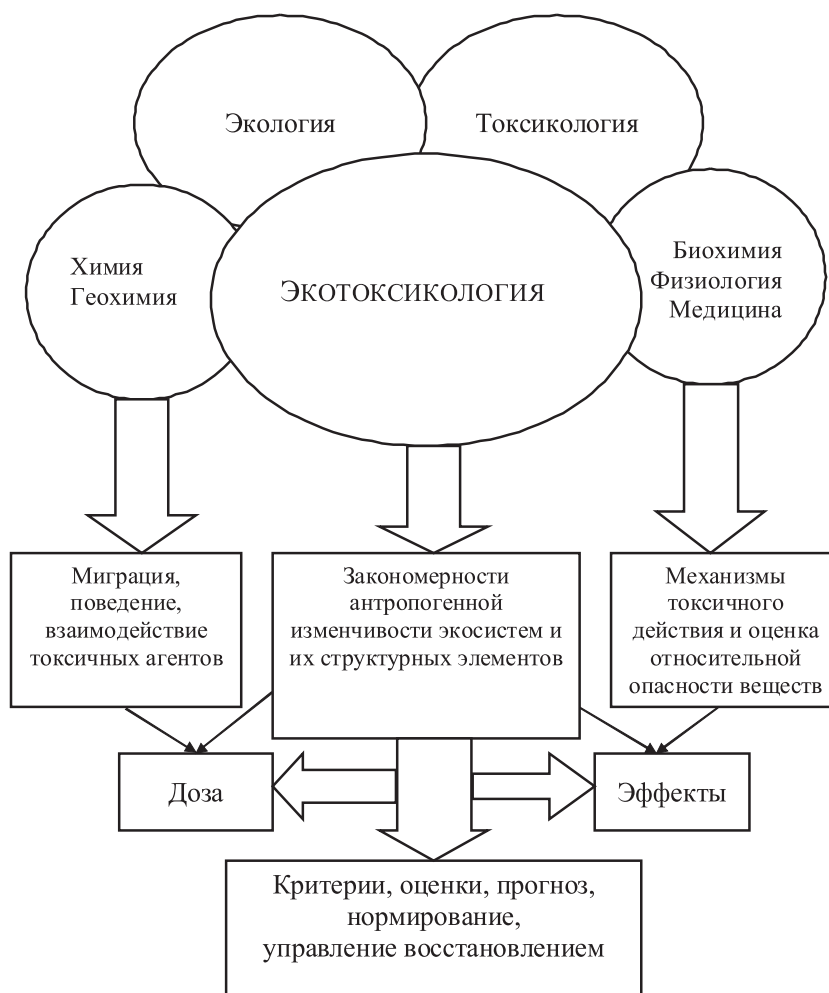


Рис. 2. Сопряжение экотоксикологии с научными дисциплинами, которые используются в познании круговорота антропогенно-индуцированных веществ и их влияния на экосистемы и их структурные элементы.

Позволим себе не согласиться с формулировкой В.Е. Соколова, Б.В. Бочарова [42] и В.С. Безеля [11] экотоксикологии «как нового направления прикладной экологии». Исходя из изложенного анализа, очевидно, что экотоксикология решает сложные фундаментальные задачи в области наук, как о Земле, так и о жизни [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], а именно:

1) законы поведения антропогенно-индуцированных и привнесенных элементов в природных средах: миграция, формы нахождения, трансформация, инактивация, взаимодействие с природными факторами и т.д.

2) законы антропогенной изменчивости биологических систем: устойчивость к действию токсичных агентов, механизмы адаптации; «норма» и «патология», или пограничные состояния организмов, популяций и сообществ.

Следует отметить, что под эгидой экотоксикологии происходит не сложение результатов исследования различных дисциплин, а синтез фактов и знаний для объяснения новых явлений, с которыми человечество столкнулось в результате своей же деятельности. По мнению М.С. Newman [25], экотоксикология находится только на пути к зрелой науке, и насколько быстро будет пройден этот путь, зависит от коллективного мышления, открытий и осознания значимости последствий загрязнения окружающей среды.

Экотоксикология для решения задач нормирования

Стремительное развитие экотоксикологии в конце прошлого века было обусловлено прежде всего необходимостью вооружения человечества научными знаниями, которые позволят направить усилия или на предотвращение негативных последствий (исключение разрушающего действия загрязнения окружающей среды), или на восстановление и поддержание физико-химической и биологической структуры экосистем, их продуктивности [52], [53]. Без четкого представления о поведении токсичных элементов в абиотических средах и понимании механизмов их влияния на экосистемы и их структурные элементы нельзя обосновать критерии оценки состояния окружающей среды, предложить адекватную систему мониторинга, определить величины необходимого уровня снижения антропогенных нагрузок [54]. Экотоксикология вооружает практику знаниями, которые необходимы для идентификации и оценки потенциальной опасности токсичных веществ, нормирования потока загрязнений в экосистемы [55], [56], [57], [58].

По мнению М.С. Newman [25], экотоксикология призвана:

а) генерировать (создавать, образовывать) данные, которые могут быть использованы для оценки риска от загрязнения и управления состоянием окружающей среды;

б) идентифицировать опасность токсичных веществ, поступающих с отходами (или в процессе производства) тех или иных веществ;

в) определять требования, регулирующие развитие промышленности и выбросы в окружающую среду опасных веществ;

г) развить эмпирические и теоретические принципы для дальнейшего понимания поведения и эффектов химических веществ и элементов на живые организмы;

д) направить усилия на ускорение процессов восстановления после прекращения токсичного загрязнения.

Опасность токсичных веществ идентифицируется на основе таких характеристик как мобильность химических веществ в окружающей среде, их инертность или активность в биотических и абиотических компонентах экосистем, потенциального воздействия на живые организмы. Основой для предсказания потенциальной опасности химических веществ являются результаты экспериментов. Однако в этих оценках необходимо учитывать такие условия, как концен-

трацию, время, частоту и продолжительность экспозиции, а также размеры и характер подопытных животных. Эти знания необходимы для принятия решения о снижении выбросов и стоков, включая международные соглашения.

Результаты экотоксикологических исследований используются медициной, при организации медико-экологических исследований и выявления потенциальной опасности загрязнения вод и других природных сред для человека. Теоретические и эмпирические данные позволяют оценить последствия синтезированных или рассеянных человеком токсикантов. Установленный риск может использоваться экономистами и политиками для разработки стратегии управления. Активное развитие нанотехнологий будет сопровождаться и рассеиванием наночастиц в природе, экотоксичные свойства которых до конца не выяснены. Поэтому на стадии развития нового технологического направления необходимо вести исследования для предвидения отдаленных последствий крайне малых доз тех или иных веществ и их побочных продуктов.

Несмотря на значительные объемы финансовых средств, привлеченных в последнее время на исследование и восстановление экосистем, очень мало информации о том, насколько будет успешным их полное восстановление. Чтобы правильно и рационально направить усилия для ускорения восстановительных процессов в нарушенных экосистемах, необходимы знания как о законах их деградации, так и оживления после токсичного стресса [59], [60], [61], [62]. Крайне редки данные о процессах восстановления озер и рек после токсичного стресса. Наука пока не может предсказать до конца, насколько достижимо восстановление экосистем после токсичного стресса [63]. Осознав последствия загрязнения, человечество не может допустить продолжения разрушающего воздействия, как и не может создавать вновь природные системы. Знания траектории деградации и восстановления экосистем позволят направить усилия на ускорение процессов восстановления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thruhaut, R. Ecotoxicology: Objectives, Principles and perspectives // *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 1977. V3. P. 151-173.
2. Twardovska, I. Ecotoxicology, environment safety and sustainable development — challenges of the third millennium // *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2004. V. 58. P. 3-6.
3. Лесников Л.А. Система исследований для разработки рыбохозяйственных нормативов качества вод с учетом особенностей перенесения экспериментальных данных на природные водоемы // *Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов*. Л.: Изд-во ГосНИИОРХ, 1979. С. 301-309.
4. Филенко О.Ф. О жизни и творчестве Н.С. Строганова // *Антропогенные влияния на водные экосистемы*. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 3-8.
5. Филенко О. Ф., Дмитриева А.Г., Исаева Е.Ф. и др. Механизм реагирования водных организмов на воздействие токсичных веществ // *Антропогенное влияние на водные экосистемы*. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 70-93.
6. Камшилов М.М. Норма и патология в функционировании водных экосистем // *Теоретические проблемы водной токсикологии. Норма и патология*. М.: Наука, 1983. С. 22-25.
7. Ласкорин Б.Н., Лукьяненко В.И. Стратегия и тактика охраны водоемов от загрязнений // *Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбоохранной токсикологии*. СПб.: Изд-во ГосНИИОРХ, 1991. С.5-8.
8. Лукьяненко В.И. *Ихтиотоксикология*. М.: Агропром, 1983. 383 с.

9. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 316 с.
10. Брагинский Л.П. Некоторые принципы классификации пресноводных экосистем по уровням токсичной загрязненности // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21. № 3. С. 57-67.
11. Безель В.С. Современные проблемы и перспективы прикладной экологии // Развитие идей академика С.С. Шварца в современной экологии / под ред. В.Н. Большакова. М.: Наука, 1991. С.213-252.
12. Садыков О.Ф. Прикладные аспекты теоретического наследия С.С. Шварца // Развитие идей академика С.С. Шварца в современной экологии / под ред. В.Н. Большакова. М.: Наука, 1991. С. 143-212.
13. Adams, S.M., Ryon, M.G. A comparison of health assessment approaches for evaluating the effects of contaminant-related stress on fish populations // J. Aquat. Ecosys. Health, 1994. V. 3. P. 15-25.
14. Adams S.M. Biological Indicators of stress in fish // Bethesda, Maryland: American Fishery Society Symposium, 1990. 191 p.
15. Attrill, M.J., Depledge, M.H. Community and population indicators of ecosystem health: targeting links between levels of biological organization // Aquat. Toxicol., 1997. V.38. P. 183-197
16. Cash, K.J. Assessing and monitoring aquatic ecosystem health - approaches using individual, population, and community/ecosystem measurements // NY.: Northern River Basins Study Project Report № 45, 1995. P. 68.
17. Chesser, R.K., Sugg, D.W. Toxicant as selective Agents in Population and Community Dynamics // Ecotoxicology: a Hierarchical Treatment /eds. Newman M.C., Jagoe Ch.H. NY.: Lewis publishers Ltd, 1996. P. 293-317.
18. Rapport, D.J., Regier, H.A., Hutchinson, T.C. Ecosystem behaviors under stress // Amer. Nat., 1985. V. 125. P. 617-640.
19. Whitfield, A.K., Elliott, M. Fish as indicator of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and suggestions for the future // J. Fish Biol. 2002. V. 61. P. 229-250.
20. Moriarty, F. Ecotoxicology: The Study of Pollutants in Ecosystems. NY.: Academic Press inc., 1989. 233p.
21. Butler, G.C. Development in Ecotoxicology // Ecological. Bull., 1986. V. 36. P. 9-12.
22. Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M., Peakall, D.B. Principles of Ecotoxicology (Second Edition). London: Taylor&Francis Ltd, 2001. 307 p.
23. Newman, M.C. Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology. NY.: Lewis publishers Ltd, 1995. 426p.
24. Forbes, V.E., Forbes, T.L. Ecotoxicology in Theory and Practice. Ecotoxicology Series. London: Chapman&Hall Ltd., 1994. 247p.
25. Newman, M.C., Jagoe Ch.H. (eds.) Ecotoxicology: a Hierarchical Treatment. NY.: Lewis publishers Ltd. 1996. 411p.
26. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб: Наука, 2000. 148 с.
27. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб. М.: Пищ. пром., 1974. 446 с.
28. Одум Ю. Экология. Т. I. М.: Мир, 1986. 328 с.
29. Сушня Л.М., Алимов А.Ф., Монаков А.В. Актуальные проблемы экологии водных животных // Гидробиологический журнал. 1982. Т. 18, № 6. С. 63-72.
30. Шмальгаузен И.И. Интеграция биологических систем и их саморегуляция // Бюлл. МОИП. Отд-ние биол. , 1961. Вып. 2.

31. Винберг Г.Г. Сравнительно-биологические исследования, их возможности и ограничения // Продукционно-лимнологические исследования внутренних водоемов. Л.: Изд-во ГосНИИОРХ, 1986. С. 4-30.
32. Микряков В. Р. Реакция иммунной системы на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 127с.
33. Строганов Н.С. Биологический аспект проблемы нормы и патологии в водной токсикологии // Теоретические проблемы водной токсикологии. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 5-21.
34. Строганов Н.С. Проблемы водной токсикологии в свете экологической физиологии // Гидробиологический журнал. 1967. Т. 3. № 5. С. 234-241.
35. Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М.: Мир, 1988. 396 с.
36. Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука, 1980. 283 с.
37. Шмальгаузен И.И. Регуляция формообразования в индивидуальном развитии. М.: Изд-во АН СССР. М.: Наука, 1964.
38. Jagoe, C.H. Responses at the Tissue Level: Quantitative Methods in Histopathology Applied to Ecotoxicology // Ecotoxicology: a Hierarchical Treatment /eds. Newman M.C., Jagoe Ch.H. NY.: Lewis publishers Ltd, 1996. P. 163-196.
39. Koehl, M. R. Disscution: From individual to population // Perspectives in Ecological Theory /eds. Roughgarden J., May R.M., Levin S.A. Princeton: Princeton University Press, 1989. P. 39-53.
40. Cairns, J.Jr. The predict, validation, monitoring and migration of anthropogenic effect upon natural systems // Environ. aud., 1990. V. 2. P. 19-25
41. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.: Пищ. пром., 1971. 248 с.
42. Соколов Б.В., Бочаров Б.В. Экоотксикология и проблемы экологии человека // Экология человека: Основные проблемы. М.: Наука, 1988. С. 154-158.
43. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т. 1, 667 с. Т. 2, 447 с. М.: Мир, 1989.
44. Грант В. Эволюционный процесс. М.: Мир, 1991. 488 с.
45. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
46. Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Высшая школа, 1981. 343 с.
47. Erwin, T. A. An Evolutionary basis for conservation strategies // Science, 1991. V. 253. P. 750-752.
48. Levin, S.A. Challenges in the development of theory and ecosystem structure and function // Perspectives in Ecological Theory /eds. Roughgarden J., May R.M., Levin S.A. Princeton:Princeton University Press, 1989. P. 242-225.
49. Rand, G.M., Petrocelli, S.R. Fundamentals of Aquatic Toxicology // Hemisphere, 1985. V. 43. P. 321-340.
50. Rozman, K.K., Doull, J. General Principles of Toxicology // Environment Toxicology: Current Development /ed. J. Rose. NY.: Lewis publishers Ltd, 1998. P. 3-8.
51. Stearns, S.C. The Evolution of life History. Oxford: Oxford University Press, 1992. 316 p.
52. Алимов А.Ф. Продуктивность сообществ макрозообентоса в континентальных водоемах СССР // Гидробиологический журнал. 1982. Т. XVIII. №2. С. 7-10.
53. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 151 с.
54. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоздат, 1984. 559 с.
-

55. Моисеенко Т.И. Экотоксикологические основы нормирования антропогенного воздействия на водоемы Субарктики: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Ин-т озероведения РАН, 1992. 32 с.

56. Моисеенко Т.И. Антропогенная изменчивость пресноводных экосистем и критерии оценки качества вод // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 19. СПб.: Изд-во ГИДРОМЕТ, 2003. С. 72-94.

57. Моисеенко Т.И. Экотоксикологический подход к оценке качества вод // Водные ресурсы. 2005. № 4. С. 410-424.

58. Моисеенко Т.И. Концепция «здоровья» экосистем в оценке качества вод // Экология. 2008. № 6. С. 1-9.

59. Моисеенко Т.И., Лукин А.А., Кудрявцева Л.П. и др. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 476 с.

60. Palmer, M.A., Ambrose, R.F., Poff, N.L. Ecology theory and Community restoration // Ecology Restoration, 2000. V. 5. P. 291-300.

61. Falk, D.A., Palmer, M., Zedler, J. Foundation of Restoration Ecology: The Science and Practice of Ecological restoration. London: Island Press, 2006. 518 p.

62. Literature Review of the Effects of Persistent Toxic Substances on Great Lakes Biota: Report of International Joint Commission. Ottawa: Press Government Printing Office, 1986. 230 p.

63. Cairns, J.Jr. Restoration Ecology and Ecotoxicology // Handbook of Ecotoxicology /eds. Hoffman D.J., Rattner B.A., Burton G.A, Cairnce J.Jr./ NY.: Lewis Publishers, 2005. P. 1015-1029.