

## Биоиндикация трансграничного загрязнения реки Амур ароматическими углеводородами после техногенной аварии в Китае

Л. М. КОНДРАТЬЕВА, Н. К. ФИШЕР, В. В. БАРДЮК\*

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН  
680000, Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, 65  
E-mail: kondrlm@rambler.ru*

*\*Министерство природных ресурсов Хабаровского края*

### АННОТАЦИЯ

Обсуждается использование методов биоиндикации в оценке экологического риска при загрязнении водных экосистем углеводородами. Анализируются последствия трансграничного загрязнения экосистемы р. Амур производными бензола после техногенной аварии на нефтехимическом заводе в КНР. Рассматриваются ответные реакции микробных комплексов, участвующих в самоочищении природных вод, и аккумуляция токсичных веществ в рыбе.

**Ключевые слова:** река Амур, биоиндикация, экологический мониторинг, трансграничное загрязнение, углеводороды.

В Экологической доктрине России важное место отводится своевременному прогнозированию и выявлению возможных экологических угроз, включая оценку экологического риска при возникновении чрезвычайных ситуаций в результате воздействия природных и антропогенных факторов. Анализ подходов к оценке антропогенного воздействия показал, что прежняя концепция экологической безопасности, основанная на критериях регламентации опасных химических веществ, должна уступить место концепции экологического риска, базирующейся на мониторинге состояния гидробионтов различного уровня организации [1].

При создании комплексных экологических программ крайне важно выбрать обоснованные критерии оценки экологического риска (ЭР), ориентированные, прежде всего, на

предотвращение ущерба для здоровья населения. Единого мнения на этот счет у специалистов нет, в интерпретации понятия ЭР преобладает природоохранный подход, без акцента на биологическую составляющую.

Ответные реакции каждого из объектов ЭР на антропогенное воздействие значительно различаются по времени. Некоторые реакции можно проанализировать незамедлительно или в течение одного жизненного цикла (организменный уровень). Изменения на популяционном и экосистемном уровнях могут происходить в течение десятилетий, столетий, а в биосферных масштабах – даже геологических эпох. Несмотря на это, при оценке ЭР важно учитывать все уровни возможных последствий, включая биологическое разнообразие биосферы в целом и ее сохранение для будущих поколений.

Важным инструментом достижения экологической безопасности является проведение

государственного экологического мониторинга. К сожалению, во многих регионах до сих пор проводится наблюдение только за состоянием отдельных физико-химических параметров окружающей среды. Тогда как задачи экологического мониторинга состоят не только в сборе информации о качестве среды обитания, но прежде всего в оценке, прогнозе и минимизации экологического риска для живых организмов, в том числе для человека. В каждой стране разрабатываются своя национальная система мониторинга водных экосистем и свои показатели, но конечная его цель – сохранение водной среды, пригодной для всех форм жизни [2].

Начиная с 90-х гг. XX в. в Приамурье резко обострилась проблема качества воды и рыбы, особенно в период ледостава. Ведущим фактором загрязнения р. Амур считают трансграничное поступление поллютантов с водами правобережного притока – р. Сунгари (Китай) [3–6]. В течение многих лет обсуждалась необходимость перехода от интегральных показателей загрязнения водной среды к современным спектральным, хроматографическим методам определения индивидуальных токсикантов и введения в систему мониторинга дополнительных методов биоиндикации [4].

Первые комплексные исследования основных компонентов экосистемы Амура (вода, донные отложения, гидробионты различного уровня организации) проведены в 1997 г. сотрудниками ИВЭП ДВО РАН [5]. Сезонные исследования качества воды и рыбы проведены в 2002 г. при выполнении международного проекта “Экологический кризис на Амуре и состояние здоровья коренных малочисленных народов Севера”. После проведения этих исследований разработаны приоритетные показатели качества воды и рыбы [1, 7].

Исследования загрязнения Амура, проведенные в 2004 г. с использованием метода газовой хромато-масс-спектрометрии, позволили дифференцировать органические загрязнители на природные и антропогенные вещества [8, 9]. Среди последних идентифицированы соединения, встречающиеся в сточных водах при производстве пластмасс, резины и нефтеперерабатывающих предприятий. Было высказано предположение о том, что многие из идентифицированных веществ

могут быть факторами экологического риска при залповых сбросах сточных вод и аварийных ситуациях в бассейне р. Сунгари, и подтверждена целесообразность расширения спектра определяемых органических микропримесей при проведении экологического мониторинга. На эту проблему неоднократно обращали внимание природоохранных служб в связи с возможной угрозой воспроизводству биологических ресурсов и здоровью населения при загрязнении поверхностных вод в Приамурье токсичными органическими микропримесями [3, 4].

Смена парадигмы экологического мониторинга произошла только после техногенной аварии в КНР на нефтеперерабатывающем заводе в г. Цзилинь в ноябре 2005 г., когда в Сунгари поступило около 100 т токсичных веществ, включая нитробензол, бензол, анилин и другие соединения. Содержание нитробензола в воде Сунгари было выше китайских нормативов в 600 раз. Длина фронта загрязнения составляла 100–150 км. Это крупномасштабное загрязнение правобережного притока Амура поставило под угрозу экологическое благополучие его экосистемы на протяжении более 1000 км от устья Сунгари до Амурского лимана и здоровье населения крупных городов Приамурья. Во время прохождения загрязненных водных масс кроме официально заявленного китайской стороной нитробензола зарегистрированы высокотоксичный хлороформ, хлорбензол и другие углеводороды, которые встречались затем во льдах и донных отложениях Амура ниже устья Сунгари вдоль правого (китайского) берега [10].

В работе обсуждаются результаты исследования ответных реакций микробных комплексов на трансграничное загрязнение Амура токсичными веществами, эффекты биоаккумуляции бензола и его производных в рыбе после аварии на нефтеперерабатывающем заводе в Китае.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В связи с высокими концентрациями и инертностью разбавления в период ледостава нитробензол стал маркером перемещения общего фронта загрязнения по рекам Сунгари и Амур (рис. 1). Методом жидкостной

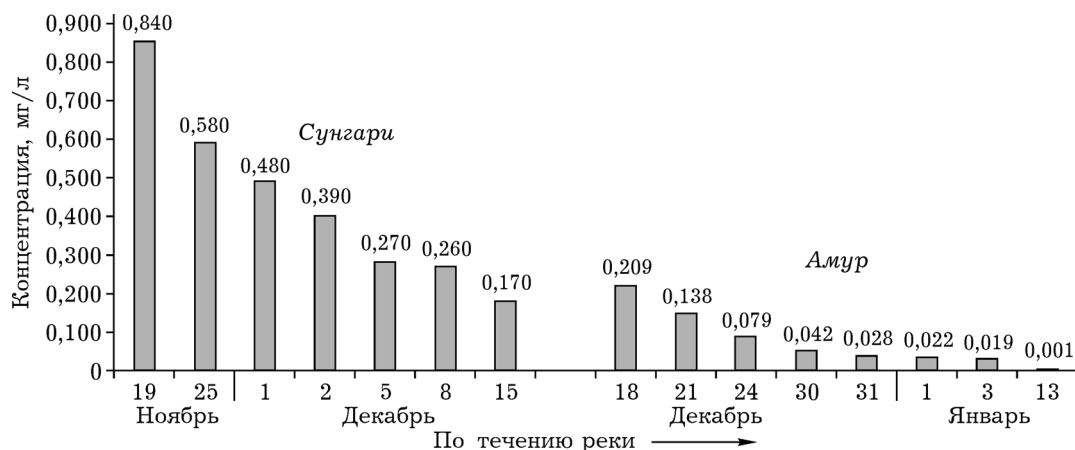


Рис. 1. Динамика изменения концентраций нитробензола в реках Амур [11] и Сунгари [12]

хроматографии нитробензол зарегистрирован в Амуре в районе с. Нижнеленинское 16 декабря 2005 г. возле правого берега в придонных слоях воды (0,005 мг/мл) спустя месяц после техногенной аварии. Его максимальная концентрация (0,209 мг/л), зафиксированная 18 декабря 2005 г. ниже устья Сунгари у правого берега, превышала ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения России в 20 раз [11].

После длительных переговоров между правительствами КНР и России (в связи с проведением работ в пограничной зоне и возможностью отбирать пробы воды возле правого китайского берега) только в марте и мае на Амуре и Сунгари был организован совместный российско-китайский мониторинг (рис. 2). Согласно принятой Программе, осуществлялся отбор проб воды, донных отложений и льда в Сунгари выше городов Харбин, Цзямуся, Тунцзян (китайская сторона не дала согласия на отбор проб ниже по течению); в Амуре – фоновый створ (20 км выше устья р. Сунгари), с. Нижнеленинское – напротив устья Сунгари; у городов Фуюань, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре. Загрязнение воды, донных отложений и льда определяли с привлечением современных хроматографических и спектральных исследований. Методы биоиндикации в программу совместного мониторинга не были включены.

Для оценки качества воды в Амуре и Сунгари российской стороной использован метод микробиологической индикации, основанный на определении численности жизнеспособного бактериопланктона и отдельных эколого-физиологических групп микроорганизмов пу-

тем посевов природной воды на агаризованные селективные среды методом предельных разведений. Количество микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ/мл). Определяли общую численность жизнеспособных гетеротрофных бактерий (ОЧГБ), численность аммонифицирующих (АМБ), нитрифицирующих (НБ) бактерий и группу фенолрезистентных и фенолоксиляющих бактерий (ФРБ/ФОБ) [13]. Классификацию качества воды проводили согласно работе [14] по численности АМБ.

Определение нитробензола в рыбе проводили в аналитическом центре при Институте тектоники и геофизики ДВО РАН с использованием жидкостного хроматографа LC-20A



Рис. 2. Карта-схема мест отбора проб в реках Амур и Сунгари в марте и мае 2006 г.

фирмы Shimadzu со спектрофотометрическим детектором SPD-20A [11]. Бензол и его летучие производные определяли в сертифицированной лаборатории ФГУ ЦАС “Хабаровский” хроматографическими методами. Для летучих производных бензола (нитробензол, бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола) ПДК в рыбе не разработаны.

Другие группы гидробионтов исследовали в летне-осенний период в рамках проекта “Оценка состояния гидробионтов реки Амур после техногенной аварии в бассейне р. Сунгари” по заданию Министерства природных ресурсов Хабаровского края [15].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Накануне поступления в Амур техногенного загрязнения с 24 ноября 2005 г. начат микробиологический мониторинг качества воды, а в марте и мае 2006 г. проведены микробиологические исследования воды в Сунгари. Это был единственный гидробиологический метод, позволивший дать сравнительную оценку последствий техногенного загрязнения для одноклеточных гидробионтов Амура и Сунгари в период ледостава. Микробиологические исследования воды Амура показали, что в период со 2 по 4 декабря 2005 г. произошло резкое снижение численности жизнеспособных гетеротрофных бактерий и существенные изменения в структуре микробных комплексов [13].

Сложная динамика численности индикаторной группы ФРБ/ФОБ свидетельствовала о поступлении со стоком Сунгари разнообразных ароматических соединений. На первом этапе при низких концентрациях ароматических соединений 4 декабря 2005 г. зарегистрировано увеличение численности ФРБ/ФОБ в поверхностных водах в 14 раз. В момент начала регистрации поступления нитробензола (15.12.2005 г.) численность ФРБ/ФОБ на середине Амура в придонных слоях воды составляла более 40 тыс. КОЕ/мл, а в зоне высоких концентраций нитробензола возле правого китайского берега их численность оказалась минимальной (рис. 3). Вдоль правого берега ниже устья Сунгари (с. Нижнеленинское) в поверхностных и придонных пробах воды сократилась численность амми- и нитрифицирующих бактерий. Это го-

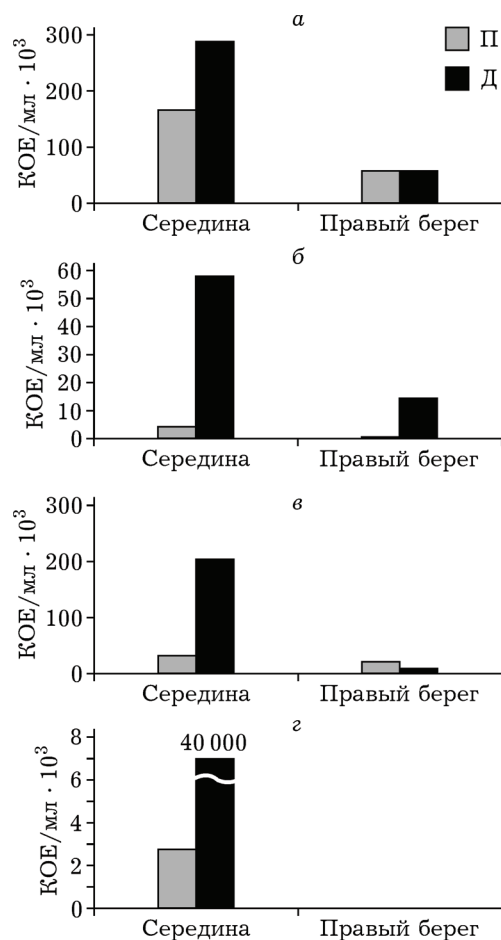


Рис. 3. Численность различных физиологических групп жизнеспособных гетеротрофных бактерий в р. Амур (с. Нижнеленинское) 15 декабря 2005 г.: а – ОЧГБ, б – АМБ, в – НБ, г – ФРБ/ФОБ. П – поверхностные и Д – придонные воды

ворит о том, что вдоль правого берега перемещались водные массы с высоким содержанием токсичных веществ, которые оказались губительными даже для резистентных к фенолу бактерий.

Можно предположить, что летучие токсичные вещества значительно повлияли не только на органолептические показатели качества воды (появился резкий химический запах), но и оказали негативное влияние на самоочищающий потенциал реки. Прежде всего это отразилось на структуре микробценозов и их разнообразии ниже устья Сунгари у правого берега. Ниже по течению реки в 130 км от Хабаровска такая ситуация уже не наблюдалась.

Проведенные микробиологические исследования Сунгари и Амура в марте 2006 г.

## Микробиологическая оценка качества воды в реках Сунгари и Амур в марте 2006 г.

Район отбора проб	Левый берег		Правый берег	
	Воды			
	поверхностные	придонные	поверхностные	придонные
Река Сунгари:				
выше г. Харбин	V	V	V	V
выше г. Цзямусы	V	V	V	V
выше г. Тунцзян	V	V	V	V
Река Амур:				
с. Нижнеленинское	IV	III	V	IV
г. Фуюань	IV	IV	IV	V
г. Хабаровск	IV	IV	IV	IV
г. Комсомольск-на-Амуре	III	–	III	III

П р и м е ч а н и е. III–V – классы качества воды: III – умеренно загрязненная, IV – сильно загрязненная, V – грязная.

показали высокий уровень загрязнения поверхностных и придонных вод по поперечному профилю на всем участке р. Харбин – Тунцзян (табл. 1). Влияние стока Сунгари хорошо прослеживалось вдоль правого берега Амура от с. Нижнеленинское до Хабаровска. Улучшение качества воды Амура происходило только в районе Комсомольска-на-Амуре.

В течение всего периода наблюдений с декабря 2005 г. по июль 2006 г. вода в Амуре вдоль правого берега ниже устья Сунгари оценивалась как сильно загрязненная и грязная (IV–V класс). Хотя качество поверхностных и придонных вод Амура у правого берега в районе с. Нижнеленинское в марте и мае 2006 г. характеризовалось V классом, численность гетеротрофных бактерий в поверхностных слоях воды в марте была в 2 раза выше, чем в мае. Это может быть связано с начавшимся ледоходом на Сунгари, таянием льда и высвобождением из него аккумулярованных токсичных органических веществ.

Исследования рыбы показали, что токсичные ароматические углеводороды, входящие в состав водных масс после техногенной аварии, регистрировались в мышечных тканях и внутренних органах в течение всего периода ледостава (табл. 2). Среди ароматических углеводородов чаще всего встречались бензол (66 %) и нитробензол (60 %), реже толуол (26 %), этилбензол (6 %) и *p*-ксилол (3 %) [16].

В январе на нижнем Амуре нитробензол встречался практически во всех пробах рыбы (1,3–72,8 мкг/кг), а у с. Нижнеленинское во многих пробах мышечных тканей рыбы это вещество уже отсутствовало, но встречалось во внутренних органах налима *Lota lota*. Максимальные концентрации бензола отмечены в январе ниже Хабаровска во внутренних органах (10,7 мкг/кг) и мышцах (52,4 мкг/кг) коня-губаря *Hemibarbus labeo*. Замечено, что при снижении концентрации нитробензола увеличивалось содержание других производных бензола особенно в пробах внутренних органов рыб. Это может служить доказатель-

## Содержание бензола и его летучих производных в рыбе р. Амур в течение ледостава 2005–2006 гг.

Компонент, мкг/кг	Декабрь	Январь	Март
Нитробензол	0,3–60	1,3–72,0	0,8–19,0
Бензол	0,2–2,0	0,05–50,0	0,1–4,0
Толуол	0,16–1,5	0,6–1,4	0,5
Этилбензол	0,63	0,67–1,8	0,3
Ксилолы (сумма)	0,6–1,3	0,27	0,24

ством биологической трансформации нитробензола и бензола прежде всего в метилированные производные (толуол – метилбензол, *o*-, *m*-, *p*-ксилолы – диметилбензолы).

В летний период во всех образцах рыбы отсутствовал нитробензол, однако встречались различные сочетания метилированных производных бензола. Самая высокая концентрация суммы летучих производных бензола, в том числе толуола – 0,987 мг/кг, зарегистрирована в косатке *Liocassis ussuriensis*. Это вполне объяснимо – она ведет придонный образ жизни, а в донных отложениях ниже устья Сунгари зарегистрированы самые высокие концентрации толуола.

Основные исследования в Китае по оценке влияния техногенной аварии на гидробионты были сосредоточены на нитробензоле [17, 18]. По официальным данным его концентрация в рыбе, выловленной из Сунгари, не превышала установленные стандарты (в России такого стандарта нет), а рыба была безопасна для употребления [12]. Китайские специалисты считают [19], что после техногенной аварии в Сунгари количество и видовое разнообразие рыб, планктонных и бентосных организмов значительно не изменились. Однако они не учитывали, что изменения на уровне структуры сообществ и их биологического разнообразия в связи со спецификой отклика разных групп гидробионтов оценить в первые месяцы после аварии весьма сложно.

Многочисленные экотоксикологические исследования показали, что прогнозирование последствий воздействия токсичных веществ на состояние рыб должно базироваться на изучении сублетальных эффектов не только на их организм в целом, а прежде всего на процессы, происходящие на тканевом, клеточном и субклеточном уровнях [20]. Так, при загрязнении местообитаний нефтепродуктами, фенолами и тяжелыми металлами у рыб встречались опухолевые образования [21].

В результате морфофизиологических исследований рыб на среднем и нижнем Амуре обнаружены аномалии внутренних органов (изменение цвета и строения гонад, консистенции печени). Встречались фенотипы – наследственные генетические отклонения в строении внешних органов, вызываемых мутагенными процессами (редукция од-

ного или двух глаз), патоморфологические изменения в виде язв, которые чаще всего наблюдались у рыб, ведущих придонный образ жизни [16, 22]. У моллюсков также отмечены различного рода аномалии в развитии – коррозия раковин, уродства зубного аппарата, опухолевые образования, изменения окраски жабр и перламутрового слоя створок раковин [23]. Эти изменения у рыб и моллюсков служат доказательством хронического загрязнения Амура различными поллютантами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что последствия техногенной аварии на нефтехимическом заводе в Китае можно отнести к глобальному многофакторному эксперименту, который нуждается во всестороннем междисциплинарном обсуждении с участием экологов, токсикологов и гидробиологов, занимающихся различными группами гидробионтов.

Методом микробиологической индикации показано, что в течение 9 мес. после техногенной аварии в КНР низкое качество воды в Амуре (IV–V класс) сохранялось вдоль правого берега ниже устья Сунгари. Максимальный эффект проявился в марте и мае в результате высвобождения поллютантов из льда и донных отложений. Отмечено комбинированное воздействие бензола, его летучих производных и сопутствующих токсикантов на функционирование микроорганизмов, отвечающих за очищение водных экосистем.

В период ледостава после прохождения загрязненных водных масс нитробензол, бензол и его метилированные производные долгое время встречались в рыбе. Пролонгированный эффект для гидробионтов наблюдался во время ледохода и в летний период в связи с интенсивным загрязнением льда и донных отложений, а также миграцией токсикантов в водную среду.

Выявленные отклонения морфофизиологических показателей у рыб могут иметь различную причину и требуют самостоятельного исследования. В меньшей степени они связаны с последствиями техногенной аварии в г. Цзилинь в ноябре 2005 г., а в большей – с хроническим загрязнением Амура в предыдущие годы. Подтверждением является рас-

пространение фенодевиантов, которые отражают наследственные нарушения в организме рыб. Так, ароматические углеводороды и продукты их трансформации могут поступать в организм рыбы из водной среды, донных отложений и перераспределяться по различным органам. Этим можно объяснить присутствие в рыбе метилированных производных бензола в летнее время. В случае высокой сопротивляемости организма рыбы эти вещества со временем метаболизируются и выводятся. Однако за период нахождения этой группы токсикантов в рыбе они способны вызывать различные эффекты – мута-, канцеро- и тератогенный.

Благодаря проведенным исследованиям выявлены новые факторы экологического риска как для рыбы, так и для здоровья населения Приамурья. Риск состоит в том, что многие углеводороды не нормируются в рыбе и не известно их комбинированное воздействие на функционирование различных органов и ферментных комплексов рыб, самое главное – на их репродуктивную систему.

Особого внимания заслуживают исследования органов рыб, содержащих липопротеиды. В них накапливаются жирорастворимые токсиканты, находящиеся в воде в виде микропримесей. Эффект их воздействия может проявиться спустя длительное время (потенциальный экологический риск). Например, высвобождение токсичных веществ из жировых депо может происходить при утилизации липидов во время созревания гонад и нерестового голодания (негативное влияние на производителей), перед выклевом личинок или сразу после их выклева (негативное влияние на молодь), что значительно снижает их выживаемость.

Полученный опыт оценки последствий техногенной аварии в Китае свидетельствует о существовании отдаленных эффектов для гидробионтов, которые невозможно зарегистрировать по анализу качества воды и в текущий момент времени. Так, например, нельзя дать адекватную оценку крупномасштабной экологической катастрофе, произошедшей в Мексиканском заливе только по количеству поступившей из скважины нефти и ее содержанию в воде. С учетом свойств морской воды, седиментации тяжелых фракций нефти на дно и их медленной трансфор-

мации, биоаккумуляции углеводородов нефти, а также продуктов их разложения рыбой и бентосными организмами-фильтраторами токсикологические эффекты могут продлиться десятилетия, а ущерб для биологического разнообразия непредсказуем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьева Л. М. Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2005. 299 с.
2. Афанасьев С. А. Развитие европейских подходов к биологической оценке состояния гидроэкосистем в мониторинге рек Украины // Гидробиол. журн. 2001. № 5. С. 3–18.
3. Кондратьева Л. М. Трансграничное загрязнение и стабилизация экологической ситуации в Приамурье // Проблемы региональной экологии. 2000. № 6. С. 114–120.
4. Кондратьева Л. М. Приамурье: вопросы экологической безопасности // Бюл. Министерства природных ресурсов РФ. 2001. № 9. С. 99–103.
5. Сиротский С. Е., Кондратьева Л. М. Основные результаты исследований по программе “Механизмы образования токсичных соединений, вызывающих загрязнение воды и отравление рыбы в нижнем течении р. Амур” в 1998 году // Состояние природной среды и природоохранная деятельность в Хабаровском крае в 1998 году: Государственный комитет по охране окр. среды Хаб. края / под ред. В. М. Болтрушко. Хабаровск, 1999. С. 115–117.
6. Шестеркин В. П. О влиянии р. Сунгари на качество вод Амура // Переход Хабаровского края на модель устойчивого развития: Экология. Природопользование. Сб. работ НТС при Крайкомэкологии. Хабаровск, 2000. С. 19–26.
7. Kondratyeva L. M. Combined methods for Amur river pollution assessment. Ecosystem approach // Report on Amur – Okhotsk project. Proceeding of the Kyoto Workshop, December 2004. Kyoto: Research Institute for Humanity and Nature. N 2. P. 47–65.
8. Рапопорт В. Л., Кондратьева Л. М. Загрязнение реки Амур антропогенными и природными органическими веществами // Сиб. экол. журн. 2008. № 3. С. 485–496.
9. Rapoport V. L., Kondrat'eva L. M. Pollution of the Amur River with Anthropogenic and Natural Organic Substances // Contemporary Problems of Ecology. 2008. Vol. 1, N 3. P. 377–386.
10. Андриенко С. Н., Бардюк В. В., Веселовская О. В. О реализации комплексных мер по обеспечению экологической безопасности населения Российского Приамурья // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. в области экологии и безопасности жизнедеятельности. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО “КнАГТУ”, 2006. С. 10–15.
11. Бердников Н. В., Рапопорт В. Л., Рыбас О. В., Пельх Т. И., Золотухина Г. Ф., Зазулина В. Е. Мониторинг загрязнения экосистемы р. Амур в результате аварии на химическом заводе в г. Цзилинь (КНР): нитробензол // Тихоокеан. геол. 2006. Т. 25, № 5. С. 94–103.
12. Simonov E. A., Dahmer T. D. Amur-Heilong River basin reader. Ecosystems Ltd., Hong Kong, 2008. 426 p.

13. Кондратьева Л. М., Фишер Н. К., Бердников Н. В. Микробиологическая оценка качества воды в реках Амур и Сунгари после техногенной аварии в Китае в 2005 г // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 5. С. 575–587.
14. Таубе П. Р., Баранова А. Г. Химия и микробиология воды. М.: Высш. шк., 1983. 280 с.
15. Кондратьева Л. М., Базаркин В. Н., Медведева Л. А., Тиунова Т. М., Фишер Н. К., Клишко О. К., Рапорт В. Л., Соколов А. В. Оценка состояния гидробионтов реки Амур после техногенной аварии в бассейне реки Сунгари // Экологические проблемы бассейнов крупных рек-4: тез докл. Междунар. конф. / отв. ред. Г. С. Розенберг и С. В. Саксонов. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. С. 84.
16. Базаркин В. Н. Трансграничное загрязнение Амура и экологические аспекты его воздействия на ихтиофауну в среднем и нижнем течении // Эколого-географические проблемы развития трансграничных регионов: мат-лы Междунар. науч. конф. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского ГУ, 2007. С. 19–23.
17. Li Z., Yang M., Li D., Qi R., Liu H., Sun J., Qu J. Nitrobenzene biodegradation ability of microbial communities in water and sediments along the Songhua River after a nitrobenzene pollution event // J. of Environ. Sci. 2008. Vol. 20, N 7. P. 778–786.
18. Li D., Yang M., Li Z., Qi R., He J., Liu H. Change of bacterial communities in sediments along Songhua River in Northeastern China after a nitrobenzene pollution event // FEMS Microbiology Ecology. 2008. Vol. 65, N 3. P. 494–503.
19. Цзюнь Ли Чжоу, Чжен Тао Лю. Оценка экологического воздействия типичных загрязняющих веществ в реке Сунгари // Состояние и перспективы российско-китайского сотрудничества в области охраны окружающей среды и управления водными ресурсами: мат-лы Междунар. конф. (Москва, 27–28 сентября 2007 г.). М.: МПР России, 2007. С. 13–31.
20. Попов П. А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск: Новосибир. гос. ун-т, 2002. 270 с.
21. Доровских Г. Н., Турбылева В. А., Вострикова А. В., Шергина Н. Н. Встречаемость опухолей у гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из бассейнов рек Северная Двина и Печора // Биология внутр. вод. 2007. № 4. С. 76–82.
22. Базаркин В. Н. Рыбы Амура и загрязнения его экосистемы в среднем и нижнем течении // Регионы нового освоения: экологические проблемы и пути их решения: мат-лы науч.-практ. конф. Хабаровск: ДВО РАН, 2008. Кн. 2. С. 514–517.
23. Клишко О. К. Морфологическая изменчивость и экотоксикологическое состояние перловиц (*Bivalvia*, *Unionidae*) Среднего Амура // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 123–133.

## Bioindication of Transboundary Pollution of the Amur River with Aromatic Hydrocarbons after Technogenic Accident in China

L. M. KONDRATYEVA, N. K. FISHER, V. V. BARDYUK\*

*Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS  
680000, Khabarovsk, Kim Yu Chen str., 65*

*\*Ministry of Natural Resources of Khabarovsk Territory  
E-mail: kondrlm@rambler.ru*

Approaches to the use of bioindication methods for estimation of the ecological conditions of water ecosystems under pollution with hydrocarbons are discussed. The consequences of the transboundary pollution of the Amur River ecosystems with benzene derivatives after a technogenic accident at a petroleum chemical plant in China are considered for the example of responses of microbic complexes and the accumulation of toxic substances in fish.

**Key words:** the Amur river, bioindication, ecological monitoring, transboundary pollution, hydrocarbons.