

**МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ Р. АМУР В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ
НА ХИМИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ В Г. ЦЗИЛИНЬ (КНР): НИТРОБЕНЗОЛ**

***Н.В. Бердников, В.Л. Рапопорт, О.В. Рыбас, Т.И. Пелых, Г.Ф. Золотухина,
В.Е. Зазулина***

Институт тектоники и геофизики ДВО РАН им. Ю.А. Косыгина, г. Хабаровск

Обобщены результаты мониторинга содержаний нитробензола в экосистеме р. Амур после аварии 13 ноября 2005 г. на химическом заводе в г. Цзилинь, КНР. Нитробензол анализировался в воде, толще льда, рыбе и донных отложениях как во время прохождения фронта загрязнения, так и после него с целью прогноза последствий загрязнения.

Показано, что при выходе из р. Сунгари содержание нитробензола в амурской воде было выше предельно допустимых концентраций для питьевой воды (0,2 мг/л). Ниже по течению на всем интервале наблюдений она превышала ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0,01 мг/л) в 2–20 раз, и только после г. Комсомольска-на-Амуре снизилась до безопасных значений. В соответствии с распределением водных потоков область нитробензольного загрязнения на отрезке от с. Нижнеленинское до с. Нижнеспасское двигалась вдоль правого берега р. Амур, а в районе Нижнеспасского – Хабаровска переместилась к левому берегу. Ниже по течению произошло интенсивное перемешивание вод и фрагментирование области загрязнения. В толще льда и в донных отложениях нитробензол не зафиксирован, в то время как в рыбе его концентрации достигали 0,026 мг/кг. Обнаружение нитробензола в рыбе, выловленной до появления загрязнения, говорит в пользу того, что описываемое загрязнение не было единичным, то есть нитробензол попадал в амурские воды и до описываемого выброса из Сунгари.

Ключевые слова: загрязнение, нитробензол, мониторинг, русловые потоки, р. Амур.

ВВЕДЕНИЕ

Авария 13 ноября 2005 г. на химическом заводе в г. Цзилинь, одном из крупнейших промышленных городов северо-восточных провинций Китая, поставила под угрозу экологическое благополучие как р. Сунгари, на которой расположен Цзилинь, так и экосистему р. Амур на протяжении более 1000 км от с. Нижнеленинское до устья. В зону загрязнения попали крупные российские города Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре и Николаевск-на-Амуре, а также большое количество поселков. Характер загрязнения достоверно известен не был, поэтому организации, привлеченные к мониторингу качества амурской воды, контролировали в ней содержание загрязнителей широкого спектра: бензола, нитробензола, толуола, ксилола, фенолов и их производных, тяжелых металлов и токсичных элементов и др.

Анализ первых образцов воды из области загрязнения показал, что одним из наиболее опасных

для здоровья человека загрязнителей в ней является нитробензол. Поэтому на контроль содержания этого вещества было направлено основное внимание исследователей. Помимо мониторинга нитробензола в воде в режиме реального времени, необходимого для предупреждения попадания его высоких концентраций в сети водоснабжения городов и поселков, контролировалось накопление нитробензола в рыбе, толще льда и донных отложениях для прогнозирования уровня его остаточных концентраций после прохождения фронта загрязнения.

Анализ содержаний нитробензола в воде, рыбе и донных отложениях Амура был поручен лаборатории физико-химических методов исследования Института тектоники и геофизики ДВО РАН. Для этого Правительством Хабаровского края приобретены и на время мониторинга переданы в институт 2 жидкостных хроматографа LC-20 фирмы Shimadzu, закуплено дополнительное оборудование и расходные материалы.

Нитробензол (C₆H₅NO₂) представляет собой бесцветную или желтоватую жидкость с запахом

горького миндаля. Температура плавления – 5,8 °С, кипения – 210,8 °С, плотность – 1,208 г/см³, растворимость в воде – 0,19 % при 20 °С. Он относится к группе сильнодействующих ядовитых соединений. Предельно допустимые концентрации в воде централизованных систем питьевого водоснабжения составляют 0,2 мг/л [3], класс опасности III. В водоемах рыбохозяйственного назначения концентрация нитробензола не должна превышать 0,01 мг/л [2].

РАЙОНЫ РАБОТ И ОСОБЕННОСТИ ОТБОРА ПРОБ

Для оперативного анализа нитробензола в воде были сформированы две хроматографические лаборатории: базовая в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (г. Хабаровск) и мобильная, которую Правительство края разворачивало по мере движения области загрязнения в Нижнеленинском, Комсомольске-на-Амуре и Богородском. Пробы отбирались в створах напротив населенных пунктов Нижнеленинское, Луговое, Петровское, Нижнеспасское, Троицкое, Сарапальское, Вознесенское, Малмыж, Циммермановка, Богородское, Комсомольск-на-Амуре и о-ва Катерный (рис. 1). Кроме того, контрольная проба была взята в 20 км выше впадения р. Сунгари; детально изучена акватория р. Амур вблизи Хабаровска (протоки Пемзенская, Казакевичева, Амурская, водозаборы ТЭЦ и питьевого водоснабжения, резервуары очистных сооружений, сбросы Судостроительного завода). Отбор и доставка проб были организованы сотрудниками МЧС, Правительства Хабаровского края и Хабаровского ЦГМС-РСМЦ центра по мониторингу загрязнения окружающей среды. Пробы, где это было возможно, отбирались на поверхности и у дна реки вблизи правого берега, на середине и вблизи левого берега. Кроме того, как правило, готовились смешанные пробы, объединяющие придонные и поверхностные пробы воды. Отобранные с помощью специального пробоотборника пробы разливались в чистую стеклянную посуду и немедленно отправлялись на анализ. Время между отбором проб и анализом редко превышало 12 часов (обычно 5–6 часов), при этом пробы содержались при низкой (3–10 °С) температуре. Такие условия пробоотбора гарантировали неизменность концентрации нитробензола в пробах и достоверность анализа.

Выход загрязнения из р. Сунгари в р. Амур контролировался анализом проб воды на нитробензол в створе с. Нижнеленинское начиная с 25 ноября 2005 г. Каждые 3 часа отбиралось 6 проб: две пробы (поверхностная и придонная) вблизи правого берега, две – на середине реки, и две –

вблизи левого берега. Параллельно готовились смешанные пробы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении аналитических исследований в качестве базовой была принята методика определения нитробензола в воде путем его экстракции смесью гептана и изопропанола с последующим замером концентрации методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофотометрическим детектированием [1]. Эта методика позволяет определить концентрацию нитробензола в воде в диапазоне 0,04–1,0 мг/л. Однако с ее помощью было невозможно решить поставленную задачу мониторинга содержания нитробензола в реальном времени, поскольку длительность анализа по методике с экстракцией составляет порядка 1,5 час. Кроме того, стандартная методика довольно трудоемка и связана с необходимостью использования больших объемов особо чистых реактивов.

Для экспресс-анализа нитробензола в воде нами была разработана методика прямого определения его концентраций, основанная на высокой чувствительности нового оборудования. Согласно этой методике экстракция нитробензола растворителями заменена прямым вводом анализируемой воды непосредственно в петлю-дозатор хроматографа.

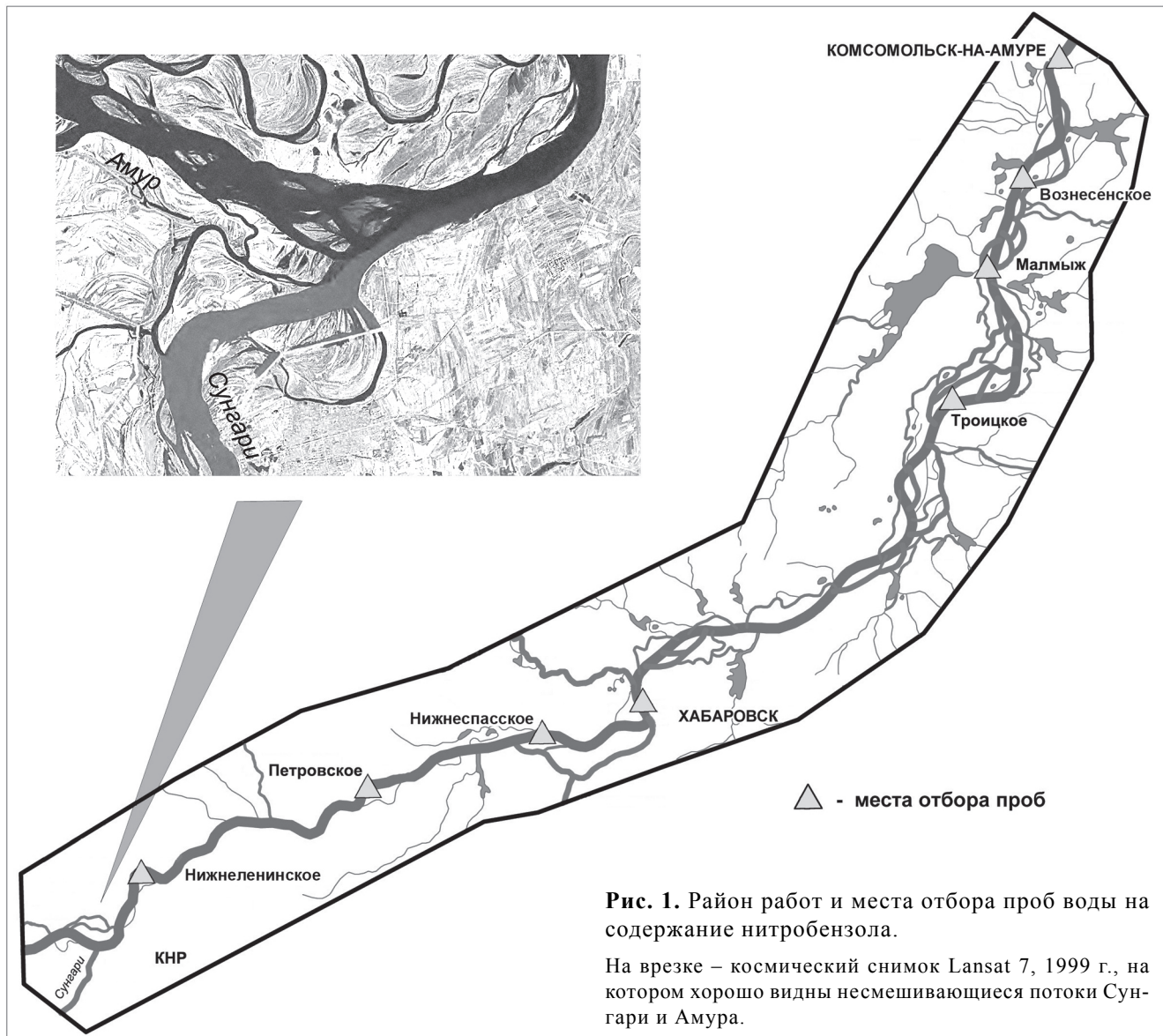
Краткое описание разработанной методики

При выполнении измерений использовался жидкостный хроматограф LC-20A фирмы Shimadzu (Япония) со спектрофотометрическим детектором SPD-20A, термостатом колонок СТО-20А, насосом LC-20AD и колонкой VP-ODS 1 = 250 мм, диаметр 4,6 мм. Для градуировки хроматографа готовились растворы нитробензола с концентрациями 0,001, 0,003, 0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0 мг/л. В качестве элюента применялась смесь ацетонитрила со специально очищенной водой в объемном соотношении 8:2.

Условия хроматографирования:

- ввод пробы ручной через петлю-дозатор;
- объем пробы 20 мкл после предварительной фильтрации через стекловолоконный фильтр;
- изократический режим элюирования;
- аналитическая длина волны 260 нм;
- вспомогательная длина волны 225 нм;
- скорость потока элюента 1 мл/мин;
- температура термостата колонок 25 °С;
- время выхода нитробензола 4 мин.

Разработанная методика позволила сократить объем анализируемой воды с 0,5 л до 2–3 мл, время анализа с 1,5 час до 6–7 мин и снизить трудоемкость



анализа, что обеспечило решение основной задачи – проведение мониторинга содержаний нитробензола в режиме реального времени, выполняя до 50 анализов в день. Чувствительность определения повысилась до 0,002 мг/л.

В процессе работы новая методика была адаптирована к анализу нитробензола в толще льда, рыбе и донных отложениях.

Из кернов льда через каждые 2–3 см делались вылавки, которые анализировались по описанной выше методике.

Определение нитробензола в рыбе и донных отложениях основано на его свойстве образовывать с водой азеотроп (содержание нитробензола 12 %, температура кипения 97 °С), который полностью от-

деляется при перегонке. 20 г рыбного фарша или донных отложений растирали с сульфатом натрия, добавляли 40 г воды. После этого смесь перегоняли и определяли нитробензол в отгоне по описанной выше методике. При анализе рыбы для лучшего отделения пика нитробензола от пиков примесей в качестве элюента использовали смесь ацетонитрила с водой в объемном соотношении 45:55. Время выхода нитробензола 11,7 мин.

Результаты исследований представлялись в виде протоколов и графиков. Для выяснения особенностей движения области загрязнения в системе водных потоков р. Амур создана динамическая компьютерная модель. Далее приводится процедура создания этой модели с использованием пакета ПО Matlab v.7.04.

Исходные данные модели

В обработку взяты результаты анализов смешанных проб амурской воды с 25 декабря 2005 г. по 9 января 2006 г. в 8 контрольных точках (створах) возле населенных пунктов Нижнеленинское, Петровское, Нижнеспасское, Хабаровск, Троицкое, Малмыж, Вознесенское, Комсомольск-на-Амуре. Каждые сутки движения области загрязнения характеризовались одним набором проб, одновременно взятых в трех точках: вблизи правого и левого берегов, а также на середине реки. Из суточного цикла опробования выбирался набор, характеризующийся максимальными для этих суток содержаниями нитробензола. В каждом из выбранных створов присутствие нитробензола наблюдалось в течение 6–9 дней – периода, характерного для прохождения области загрязнения через створ.

Построение исходных матриц

На основе исходных данных были построены три 2D матрицы, соответствующие трем потокам (струям) загрязнения: левый берег, середина, правый берег. Каждая из матриц представляет собой 2-мерную поверхность, где ось X – набор контрольных точек (8 створов), ось Y – время (день взятия пробы), и $f(x,y)$ – величина концентрации нитробензола в мг/л. По каждой из контрольных точек для всех матриц выделяется начало волны, т.е. дата первого ненулевого значения концентрации, дата прохождения ее максимума и дата окончательного ухода волны – регистрации последних ненулевых значений.

Описание формы волны

Учитывая дату прохождения пика концентраций, подбиралось преобразование исходной матрицы, позволяющее оценить форму волны. Для этого по каждой из контрольных точек делалось такое смещение по оси Y, что все пиковые значения оказываются приравнены к y_{fix} , где y_{fix} – произвольное значение, взятое на оси Y (например, $y_{\text{fix}} = 0$). Т.е. $f_2(x_i, \max(y)) = \max(f_2(x_i, y))$, для всех $i=1...8$, где f_2 – искомая поверхность (матрица) как результат этого преобразования. Таким образом можно оценить форму волны вне зависимости от времени, но в зависимости от ее положения на реке относительно контрольных точек отбора проб.

Используя расстояния между контрольными точками, делается первый шаг интерполяции (функция Matlab `interp2()`), результатом которой является регулярная поверхность с частотой дискретизации 5 км по оси X и 1 час по оси Y. Далее выполняется обратное преобразование, т.е. все интерполированные данные возвращаются в свои реаль-

ные временные рамки. Здесь также используется интерполяция 1-мерного набора данных пиковых значений волны в контрольных точках, которая позволяет построить набор индексов для обратного смещения. В итоге получились три (левый берег, середина, правый берег) независимых набора данных с единой регулярной структурой (ячейка с размерностью 1 час \times 5 км), т.е. с временной и пространственной привязкой. Объединив их в 3D матрицу и применив функцию `interp3()`, получаем конечный результат. На этапе 3D интерполяции были использованы следующие параметры: время дискретизации – 1 час – оставлено без изменения, шаг дистанции по оси X уменьшен до 1 км, количество струй по ширине реки – 41.

Визуализация результирующей матрицы

Поскольку одна из осей 3D матрицы – время, проекцией на эту ось в фиксированный момент времени является 2D-матрица (размерность – длина участка взятия проб на ширину потока). Исходя из этого, для получения динамической картины использовалась последовательная реализация функции `imagesc()` для всех значений временной оси, которая в конечном итоге записывается в видео-файл.

Оценка погрешности построений

В первую очередь необходимо отметить, что все интерполяции проводились с использованием линейных функций, поэтому говорить о полной достоверности можно только в контрольных точках в 12-00 (полдень) каждых суток. Все остальное – результат линейной интерполяции. Следующий важный момент состоит в том, что на первом шаге интерполяции исходным набором данных была матрица, нормализованная по максимумам измерений в контрольных точках, но не по длине волны, так как невозможно достаточно точно описать ее аппроксимирующую функцию из-за малого числа замеров (не более 9 на каждую контрольную точку). Следовательно, точный, с точки зрения линейной интерполяции, результат между контрольными точками достигается только на участках прохождения максимума волны; на участках же, близких к началу (концу) волны, возможны небольшие отклонения, связанные с взаимным влиянием соседних контрольных точек.

Результаты

Силами стационарной и полевой лабораторий ИТиГ ДВО РАН было выполнено более 1500 определений содержаний нитробензола в воде, льду, рыбе и донных отложениях методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Нитробензол в воде во время прохождения области загрязнения

Первые признаки загрязнения у выхода из р. Сунгари с концентрациями нитробензола 0,005 мг/л в р. Амур в створе с. Нижнеленинское были зафиксированы 16 декабря в пробах, отобранных с поверхности вблизи правого берега и со дна на середине реки. Затем его концентрации быстро нарастали и к 18 декабря достигли максимального значения 0,209 мг/л (поверхностные воды вблизи правого берега). При этом загрязнение захватило середину реки, распространяясь в основном по дну; в левобережных водах нитробензол отсутствовал до 17 декабря. В целом же основной объем загрязнения здесь шел вдоль правого берега (рис. 2). Общая продолжительность движения области загрязнения через створ Нижнеленинского – 6 суток.

В амурской воде у с. Петровское нитробензол фиксировался с 19 декабря. Так же, как и в Нижнеленинском, основной фронт загрязнения распространялся вдоль правого берега, причем в поверхностных водах у правого берега концентрация нитробензола была выше, чем у дна, а на середине реки и вдоль левого берега, наоборот, основная масса загрязнителя шла в придонных слоях воды. Судя по рис. 2, загрязнение в большей мере распространилось и на середину реки. Максимальная концентрация нитробензола в створе с. Петровского составила 0,138 мг/л (21 декабря, поверхностные воды у правого берега), последние его следы отмечены 24 декабря (рис. 2).

В районе с. Нижнеспасское первые признаки загрязнения нитробензолом были определены 20 декабря в левобережных водах (смешанная проба). Концентрации нитробензола в зоне загрязнения в целом значительно снизились, максимальное значение 0,079 мг/л было отмечено днем 24 декабря вблизи правого берега. Загрязнение распространилось на середину реки и левобережные воды, хотя область максимальных концентраций шла все же вдоль правого берега (рис. 2). Последние признаки загрязнения нитробензолом в створе Нижнеспасского отмечены 28 декабря.

Города Хабаровска область загрязнения достигла утром 23 декабря. Максимальная концентрация нитробензола 0,05 мг/л зафиксирована 24 декабря в воде у левого берега. Детальный мониторинг качества воды у правого берега, где расположен главный водозабор очистных сооружений питьевого водоснабжения города, показал, что во время прохождения области загрязнения вода здесь оставалась практически чистой (<0,003 мг/л

нитробензола). Это подтверждает распределение потоков, зафиксированное на космическом снимке (рис. 3). Из рисунка видно, что вдоль правого берега проходит струя Амурской протоки, практически не смешанная с основным потоком р. Амур, по которому двигался основной объем загрязнения. В то же время, в верхней части снимка хорошо видна область турбулентности и фрагментирования потоков, в которой происходит их перемешивание. Как следует из рис. 2, область максимальных концентраций нитробензола заметно сместилась к фронтальной части зоны загрязнения. Общее время движения загрязненной нитробензолом воды через створ Хабаровска – 7 суток.

У с. Троицкого фронт загрязнения зафиксирован 29 декабря. Здесь максимальные концентрации нитробензола снизились до 0,042 мг/л (30 декабря возле левого берега), фактически же произошло распределение загрязнения воды по всему сечению реки (рис. 2). Область максимальных концентраций нитробензола смещена к фронтальной части области загрязнения: 29–31 декабря отмечались максимальные содержания, далее в течение более 4 суток наблюдался медленный спад концентраций. Общее время прохождения загрязненных вод увеличилось до 9 дней.

В амурской воде около с. Малмыж нитробензол появился 30 декабря, пиковое значение 0,028 мг/л отмечено 31 декабря в придонных водах на середине реки. Максимальные концентрации наблюдались во фронтальной части области загрязнения вблизи левого берега и на середине реки, ближе к окончанию зоны загрязнения содержание нитробензола по профилю реки выровнялось (рис. 2). Время прохождения загрязненных нитробензолом вод через Малмыж составило 9 дней.

Первые признаки загрязнения воды нитробензолом в районе с. Вознесенское зафиксированы 31 декабря, максимальное его содержание здесь составило 0,022 мг/л (1 января 2006 г., придонные воды вблизи левого берега). Судя по рис. 2, через створ Вознесенского прошли два максимума концентраций нитробензола, приуроченные к началу и к концу области загрязнения. Основной объем загрязнения двигался вдоль левого берега, общий период прохождения – более 9 дней.

В створе Комсомольска-на-Амуре нитробензол впервые обнаружен 2 января в воде на середине реки, а максимальные концентрации 0,019 и 0,02 мг/л отмечены на следующий день вблизи правого и левого берегов, соответственно. Как видно из рис. 2, область загрязнения здесь имела 2

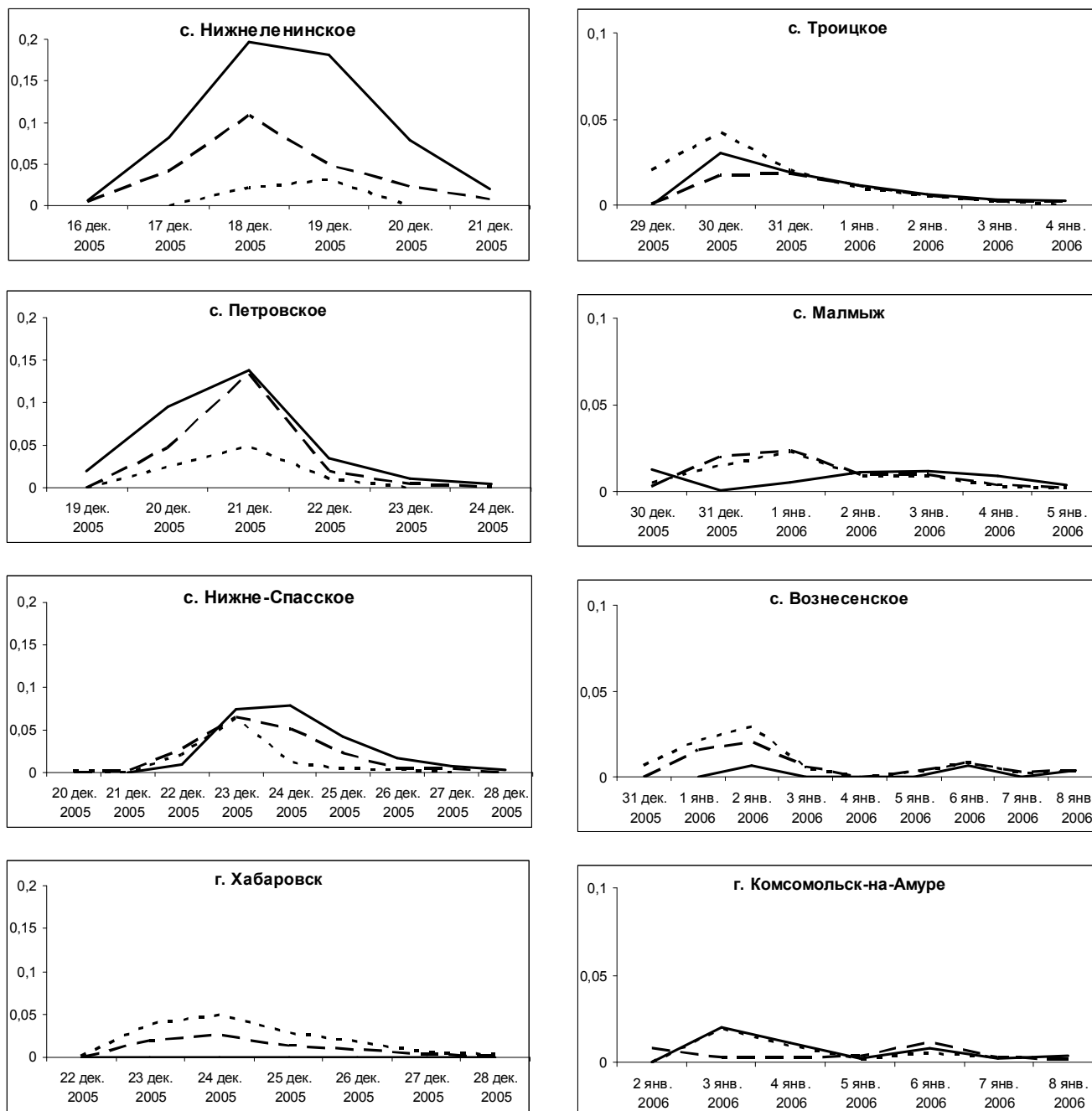


Рис. 2. Концентрации нитробензола (мг/л) в смешанных пробах воды из р. Амур во время прохождения зоны загрязнения.

Сплошная линия – вблизи правого берега, пунктир – середина реки, точки – вблизи левого берега.

максимума концентраций нитробензола, отмеченные 3 и 6 января; к ее окончанию содержание нитробензола по профилю реки выравнивается. Общее время прохождения загрязнения – более 7 суток (далее наблюдения не велись).

После Комсомольска-на-Амуре наблюдения велись в с. Богородское. Здесь только 13 января было

зафиксировано содержание нитробензола 0,001 мг/л, в остальных пробах воды его концентрация была ниже предела обнаружения (<0,001 мг/л).

На рис. 4 представлены фрагменты видео-файла, иллюстрирующего движение зоны загрязнения от Нижнеленинского до Комсомольска-на-Амуре.



Рис. 3. Космический снимок Aster 5 сентября 2002 г. района г. Хабаровска.

Хорошо видны потоки, сформированные Амуром и Амурской протокой (нижняя часть снимка) и область их смешения (верхняя часть снимка).

Нитробензол в воде, толще льда, донных отложениях и рыбе после прохождения области загрязнения

Предполагалось, что определенная (возможно, значительная) часть нитробензола после прохождения области загрязнения останется вмёрзшей в лед, законсервированной в донных отложениях и рыбе. Для проверки этого предположения и принятия соответствующих мер защиты населения Правительством Хабаровского края был организован мониторинг экосистемы р. Амур перед весенним паводком. Пробы льда, воды, донных отложений и рыбы отбирались в декабре 2005 г. и январе–марте 2006 г. Результаты, полученные в ИТиГ ДВО РАН, представлены в таблице. Из таблицы видно, что воды р. Сунгари от г. Цзямусы до г. Тунцзян и р. Амур от Нижнеленинского до Комсомольска-на-Амуре в феврале-марте 2006 г. не содержали нитробензола. Не осталось нитробензольного загрязнения воды и в районе временной дамбы через протоку Казакевича. Это же касается и ледяного покрова в этих районах. Нитробензол не был обнаружен и в пробах донных отложе-

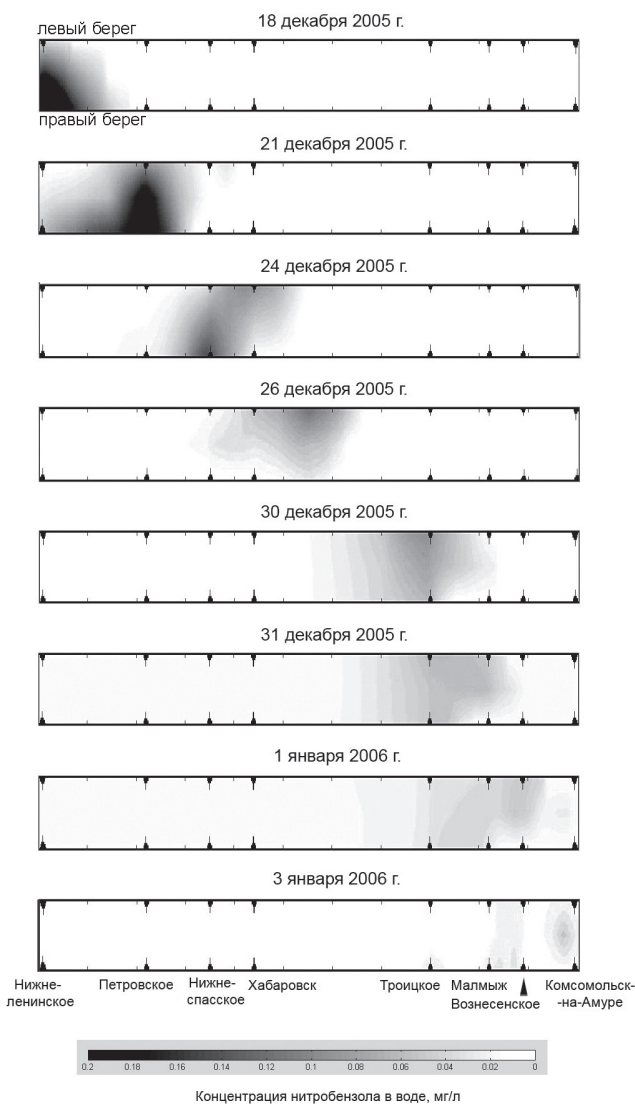


Рис. 4. Фрагменты видео-файла, иллюстрирующего движение области загрязнения от Нижнеленинского до Комсомольска-на-Амуре.

ний, хотя их отбор в ряде случаев производился непосредственно во время движения области загрязнения или сразу после ее прохождения (Петровское, Троицкое, Малмыж). В то же время, в большинстве проб рыбы установлено наличие нитробензола, что делает ее непригодной для использования в пищу. Наиболее загрязненной оказалась рыба, отловленная во время прохождения зоны загрязнения (среднее по 10 пробам – 0,0133 мг/кг). Существенно меньшие концентрации нитробензола зафиксированы в рыбе, отловленной после прохождения загрязнения (среднее по 4 пробам – 0,00033 мг/кг). Примечательно, что значительные содержания нитробензола отмечены в рыбе, отловленной до подхода области загрязнения (среднее по 5 пробам – 0,0056 мг/кг).

Таблица. Содержания нитробензола в воде, толще льда, донных отложениях и рыбе.

Объект анализа	Место отбора проб	Дата отбора	Нитробензол, мг/л (вода), мг/кг (донные и рыба)
Вода	Сунгари, вблизи Цзямусы	7.03.06.	<0,001
	Сунгари, вблизи Харбина		
	Сунгари, вблизи Тунцзяна	12.03.06.	
	Амур, вблизи с. Нижнеленинское		
	Амур, вблизи Фуюаня	23.03.06.	
	Амур, вблизи Нижнеспасского	3.02.06.	
	Прот. Казакевичева, ниже плотины	10.03.06.	
	Прот. Казакевичева, выше плотины		
	Амур, вблизи Хабаровска	14.03.06.	
Амур, вблизи Амурзета	12.03.06.		
Амур, вблизи Комсомольска-на-Амуре	17.03.06.		
Лед	Сунгари, вблизи Цзямусы	15, 16.03.06.	<0,001
	Сунгари, вблизи Харбина		
	Сунгари, вблизи Тунцзяна	13.03.06.	
	Амур, вблизи Фуюаня		
	Амур, вблизи с. Нижнеспасское	3,7,9.02.06.	
	Прот. Казакевичева, выше плотины	10.03.06.	
Амур, вблизи Комсомольска-на-Амуре	16.03.06.		
Донные отложения	Прот. Казакевичева, ниже плотины	10.03.06.	<0,001
	Прот. Казакевичева, выше плотины	26.12.05.	
	Амур, вблизи с. Нижнеленинское		
	Амур, вблизи с. Петровское	23.12.05.	
	Амур, вблизи с. Нижнеспасское	03.02.06.	
	Амур, вблизи Хабаровска	09.02.06.	
	Амур, вблизи с. Троицкое	06.01.06.	
	Амур, вблизи с. Малмыж	05.01.06.	
Амур, вблизи Комсомольска-на-Амуре	2,10.01.06.		
Рыба	Амур, карась, с. Троицкое	15.12.05.	0,017
	Амур, налим, Ульчский район	21.12.05.	<0,001
	Амур, щука, с. Малмыж	21.12.05.	0,004
	Амур, щука, с. Малмыж	21.12.05.	0,007
	Амур, налим, с. Иннокентьевка	26.12.05.	<0,001
	Амур, тригуб, Хабаровск	4.01.06.	0,002
	Амур, верхогляд, Хабаровск	4.01.06.	<0,001
	Амур, тригуб, с. Джари	4.01.06.	0,013
	Амур, конь пестрый, с. Джари	4.01.06.	0,009
	Амур, тригуб, с. Джари	4.01.06.	0,017
	Амур, налим, с. Джари	4.01.06.	0,026
	Амур, конь пестрый, с. Джари	4.01.06.	0,01
	Амур, красноперка, с. Джари	4.01.06.	<0,001
	Амур, конь пестрый, сов. Хорпинский	6.01.06.	0,002
	Амур, чебак, сов. Хорпинский	6.01.06.	0,003
	Амур, тригуб, с. Джари	16.01.06.	<0,001
	Амур, толстолобик, с. Джари	16.01.06.	<0,001
	Амур, чебак, с. Нижнеспасское	17.01.06.	<0,001
	Амур, конь пестрый, с. Нижнеспасское	17.01.06.	<0,001

Примечание. Проба отобрана: до (жирный шрифт), после (нормальный шрифт) и во время (курсив) прохождения области загрязнения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наши исследования, выброс из р. Сунгари явился причиной значительного загрязнения нитробензолом вод р. Амур. В створе Нижнеленинс-

кого максимальная концентрация нитробензола (0,209 мг/л) превысила предельно допустимое значение для питьевой воды (0,2 мг/л), ниже по течению на всем протяжении интервала наблюдений она превышала ПДК для рыбохозяйственных водоемов

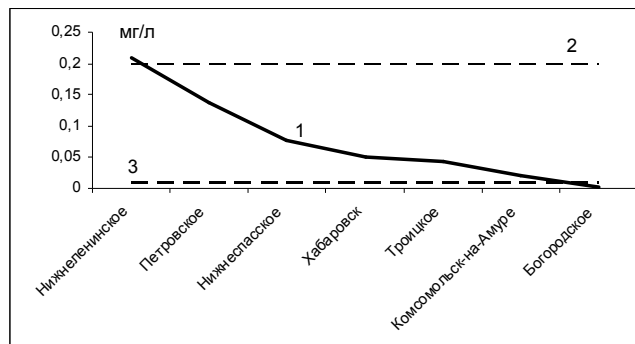


Рис. 5. Максимальные концентрации нитробензола (мг/л) в пунктах наблюдений (1); 2, 3 – ПДК нитробензола для питьевой воды (2) и водоемов рыбохозяйственного значения (3).

(0,01 мг/л) в 2–20 раз и только ниже Комсомольска-на-Амуре уменьшилась до безопасных значений (рис. 5).

От места впадения Сунгари нитробензолное загрязнение двигалось преимущественно вдоль правого берега Амура, в районе Нижнеспасского – Хабаровска произошло его перемещение к левому берегу, ниже Хабаровска область загрязнения фрагментируется и практически равномерно заполняет русло реки. На участке Нижнеленинское – Петровское наибольшие концентрации нитробензола отмечались в поверхностных водах, ниже по течению произошло перемешивание. Скорость продвижения области загрязнения в зависимости от гидрологического режима реки изменялась: через створ Нижнеленинского она прошла за 6 суток, в створе Нижнеспасского наблюдалась 9 суток, а Хабаровск миновала за 7 суток.

При прогнозировании негативных последствий прохождения области загрязнения обсуждались три основных возможности накопления нитробензола в экосистеме Амура: захват кристаллизующимся льдом, аккумуляция в донных отложениях и загрязнение рыбы. Вмерзание в лед считалось наиболее опасным, так как загрязнение происходило во время ледостава на Сунгари и интенсивного наращивания ледяного покрова на Амуре. Поэтому не исключалась возможность повторного загрязнения воды во время весеннего таяния льда. Детальное исследование льда на Сунгари и Амуре после прохождения области загрязнения показало полное отсутствие в нем нитробензола. Поскольку суточный прирост льда в ноябре 2005 г. – январе 2006 г. на Амуре был

0,9–1,9 см в сутки (данные Хабаровского ЦГМС-РСМЦ центра по мониторингу загрязнения окружающей среды), керны льда “сканировались” с шагом 2–3 см. Отсутствие нитробензола во льду мы связываем с вымораживанием – процессом очищения кристаллизующейся фазы от примесей. Однако существовала возможность попадания нитробензола в лед совместно с нефтепродуктами, в которых нитробензол хорошо растворим. Нефтепродукты хорошо смачивают лед и могли быть захвачены в его толщу. Однако концентрации нефтепродуктов в амурской воде во время загрязнения были низкими (в основном 0,05–0,1, редко 0,3–0,4 мг/л), поэтому вмержания нитробензола в лед совместно с ними не произошло.

Отсутствие нитробензола в пробах донных отложений можно объяснить низкой скоростью седиментации в русле Амура в зимнее время, в результате чего загрязненный нитробензолом слой не успел сформироваться или был смыт (промыт) следующими за областью загрязнения водами, не содержащими нитробензол.

Нитробензол имеет свойство концентрироваться в тканях живых организмов, особенно в жировых отложениях. Это продемонстрировали анализы рыбы, выловленной в Амуре до, во время и после прохождения зоны загрязнения. Наибольшая концентрация нитробензола 0,026 мг/кг зафиксирована в налиме, выловленном в районе Троицкого во время прохождения области загрязнения. Рыба, выловленная после прохождения области загрязнения, оказалась менее загрязненной, что, возможно, объясняется самоочищением живых организмов от нитробензола. Обнаружение нитробензола в рыбе, выловленной до появления загрязнения, говорит, вероятно, о том, что описываемое загрязнение не было единичным, т.е. нитробензол так или иначе попадал в амурские воды и до описываемого Сунгарийского загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВЖХ определение нитробензола в воде. Методы контроля. Химические факторы. МУК 4.1.750-99. С. 133–140.
2. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасного уровня воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999.
3. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПИН 2.1.4. 1074-01. п.4.2.1.2.2.1.

N.V. Berdnikov, V.L. Rapoport, O.V. Rybas, T.I. Pelykh, G.F. Zolotukhina, V.Ye. Zazulina

Monitoring of the Amur River ecosystem pollution resulting from the accident at the chemical plant in Jilin (China): nitrobenzene

The results of monitoring of nitrobenzene content in the Amur River ecosystem are summarized after the November 13, 2006 accident at the chemical plant in Jilin (China). Nitrobenzene was analyzed in water, ice pack, fish, and bed material both during the passage of the pollution front and after it aimed at prediction of pollution consequences.

It is shown that the nitrobenzene concentration at the confluence of the Songhua and Amur rivers was higher than the maximum permissible value for drinking water (0.2 mg/l). Downstream, along the whole interval of monitoring, it exceeded the permissible concentration for fish-farming reservoirs (0.01 mg/l) by 2–20 times, and only downstream from Komsomolsk-na-Amure it dropped to safe values. In accordance with the distribution of water streams, the area of nitrobenzene pollution at the stretch from Nizhneleninskoye Settlement to Nizhnepasskoye Settlement moved along the right bank of the Amur River; in the Nizhnepasskoye Settlement – Khabarovsk area it shifted to the left bank. Downstream, there was intense mixing and fragmentation of the pollution area. No nitrobenzene was registered in the ice pack or bed material, while in the fish its concentrations were as high as 0.026 mg/l. The detection of nitrobenzene in the fish caught prior to the pollution argues for the fact that the described pollution was not a single case, i.e., nitrobenzene was in the Amur waters before its discharge from the Songhua.

Key words: pollution, nitrobenzene, monitoring, channel streams, Amur River.