

УДК 594.1;574.21; 574.632; 504.064.2

Д. В. Лукашев

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
МОЛЛЮСКАМИ ANODONTA ANATINA В УСЛОВИЯХ
ПОСТУПЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ
СТОЧНЫХ ВОД В РЕЧНУЮ ЭКОСИСТЕМУ**

Исследовано накопление Ni, Zn и Cu мягкими тканями моллюсков *Anodonta anatina* (L.) в районе поступления сточных вод в р. Днепр (коммунальные очистные сооружения, г. Киев) и р. Десну (очистные сооружения, г. Чернигов). Показано, что содержание Ni и Zn в моллюсках отражает динамику концентрации металлов в воде ниже источника загрязнения. На накопление Cu моллюсками оказывает влияние содержание органического вещества в донных отложениях. Несмотря на быстрые процессы разбавления стоков и депонирование металлов донными отложениями, наблюдается накопление повышенных уровней Zn, Ni и Cu моллюсками на значительном удалении от источника загрязнения (свыше 9 км). Данное свойство моллюсков делает их чувствительным индикатором поступления неочищенных стоков в речные экосистемы.

Ключевые слова: сточные воды, тяжелые металлы, двустворчатые моллюски.

Наиболее распространенным источником загрязнения водоемов являются коммунально-бытовые стоки крупных городских центров, представляющие большую опасность для водных экосистем. Сточные воды коммунальных предприятий характеризуются широким и непостоянным химическим составом, динамика поступления таких вод является трудно прогнозируемой во времени. Тяжелые металлы в коммунально-бытовые сточные воды могут поступать различными путями: в результате деятельности предприятий города, использования моющих средств населением, коррозии трубопроводов и, даже, выделений человека (взрослый человек выделяет 7—20 мг Zn в сутки) [22]. В результате описанных особенностей, мониторинг загрязнения водных экосистем коммунально-бытовыми сточными водами представляет большую методическую проблему.

Изменения химического состава воды в районе поступления сточных вод в речную экосистему часто невозможно проконтролировать обычными аналитическими методами в связи со значительной изменчивостью и непериодичностью пусков различных водопользователей. В таком случае могут быть с успехом использованы методы биологической индикации, основанные на биоаккумуляционных свойствах некоторых гидробионтов. Как было

© Лукашев Д. В., 2010

показано многочисленными исследованиями, моллюски являются удобным объектом биомониторинга [12, 17, 20]. Использование моллюсков позволяет идентифицировать в пространстве и времени источник загрязнения [21]. Высокая аккумулярующая способность этих организмов позволяет регистрировать простыми аналитическими методами большой спектр загрязнителей [8]. Кроме того, химический состав тканей моллюсков является интегрированной характеристикой загрязнения среды обитания за продолжительный период времени [16], что делает их ценным объектом при выявлении неперiodических поступлений сбросных вод. Уровень накопления загрязнителей моллюсками отражает содержание биологически доступных форм поллютантов, что характеризует экологическую опасность для водных экосистем [19].

Для разработки унифицированных методов экологического нормирования содержания загрязнителей в водных экосистемах с помощью биоаккумуляционных параметров моллюсков необходима их верификация на модельных объектах с известными характеристиками. Целью данного исследования является сравнительный анализ накопления тяжелых металлов тканями двустворчатого моллюска *Anodonta anatina* и их содержания в воде и донных отложениях крупных речных экосистем в условиях поступления коммунально-бытовых сточных вод из точечного источника. Данный вид моллюсков является широко распространенным в континентальных водоемах Европы, способен накапливать высокие концентрации тяжелых металлов, что делает его удобным объектом экологического мониторинга [5, 18].

Для проведения исследования были выбраны два модельных участка на реках, отличающиеся своими гидрологическими параметрами и особенностями поступления сточных вод: Десна в районе поступления сточных вод коммунальных очистных сооружений г. Чернигова (устье р. Белоус) и Днепр в районе поступления сточных вод г. Киева. Выбор данных районов исследования обусловлен тем, что эти объекты признаны «горячими точками» загрязнения бассейна Днепра [9]. Так ГКО «Киевводоканал» определяет до 8,5% поступления сточных вод в бассейн р. Днепр, являясь крупнейшим источником загрязнения в регионе. Вклад ГКП «Черниговводоканал» в суммарный сброс сточных вод в бассейн р. Днепр составляет 0,54%. При этом на протяжении 2000 г. со сточными водами г. Киева в р. Днепр поступило нефтепродуктов — 8,6 т, взвешенных веществ — 7,0 тыс. т, органических веществ — 4,7 тыс. т, Cu — 4,2 т, Zn — 8,4 т, Ni — 8,4 т. За этот же период сточные воды г. Чернигова привнесли в р. Десну нефтепродуктов — 1,4 т, взвешенных веществ — 0,3 тыс. т, органических веществ — 0,2 тыс. т, Cu — 0,5 т, Zn — 0,38 т, Ni — 0,41 т [9].

Материал и методика исследований. Материал отбирали в период с 11 августа по 29 августа 2008 г. В районе г. Киева было выбрано 7 экспериментальных створов по левому берегу реки: контрольный створ на расстоянии 1 км выше сброса очистных сооружений, 0,1 км ниже по течению, 1,6 км, 3,1 км, 7,1 км, 16 км ниже сброса. В районе г. Чернигова выбрано 6 створов: контрольный створ на расстоянии 3,1 км выше по течению от устья р. Белоус (сброс очистных сооружений), 0,4 км ниже по течению, 1,2 км, 1,8 км, 4,5 км, 9,6 км, 15 км. На выбранных створах в течение обозначенного перио-

да дважды провели отбор проб моллюсков *A. anatina* (по 5 экз.), воды (по 1 л) и образцов верхнего 5-сантиметрового слоя донных отложений (по 2 пробы).

Отбор моллюсков проводили на глубине 1—2 м на расстоянии 5—20 м от берега с использованием легкого водолазного снаряжения. В работе использовали особей стандартных размеров (с длиной раковины 83—88 мм и массой 61—70 г из р. Днепра; 92—98 мм и 75—80 г — из р. Десны). Моллюсков после отбора доставляли в лабораторию, отделяли мягкие ткани, которые затем высушивали при 95°C до постоянной массы. Минерализацию проб проводили стандартными методами [3]. Концентрацию металлов выражали в мг/кг массы сухого вещества ткани.

Пробы воды фильтровали на месте отбора через целлюлозно-ацетатный фильтр и подкисляли 1 мл 56%-ной HNO₃. Определение концентрации металлов проводили после предварительного упаривания. Концентрацию металлов выражали в мг/л.

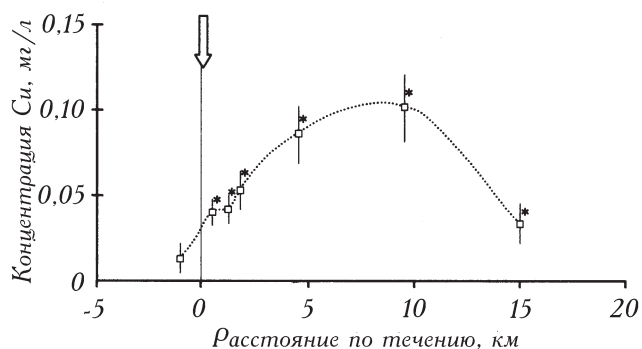
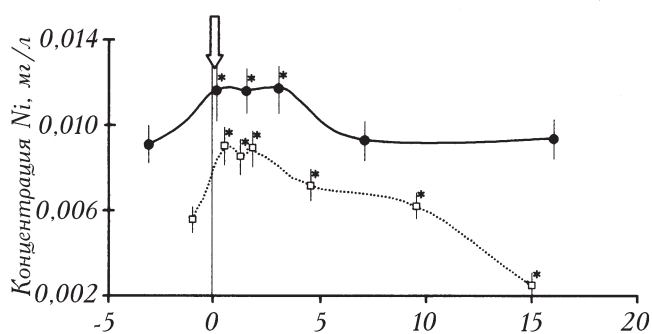
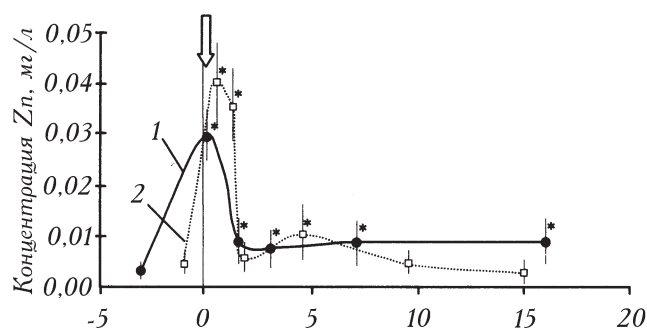
Образцы донных отложений отбирали в месте обитания моллюсков, упаковывали в пластиковые емкости по 50 мл, доставляли в лабораторию, где незамедлительно высушивали при 95°C до постоянной массы. Тяжелые металлы экстрагировали 1 М HNO₃ согласно стандартной методики [6]. Показано, что азотнокислотная экстракция наиболее адекватно отражает техногенное загрязнение донных отложений тяжелыми металлами [23]. Концентрацию металлов выражали в мг/кг массы сухого вещества донных отложений. Содержание органических веществ в донных отложениях определяли прокаливанием проб при 600°C согласно методу Густавсона [6]. Содержание органического вещества выражали в процентах массы.

Определение концентрации тяжелых металлов проводили при помощи атомно-адсорбционного спектрофотометра С115-М1 (пламя ацетилен — воздух) с дейтериевым корректором фона и компьютерного аналитического комплекса КАС-11. Так как для выбранных источников загрязнения известны объемы сбросов Zn, Cu и Ni, в работе проведен анализ распределения данных элементов.

Определение статистической значимости отличий концентраций тяжелых металлов в воде, донных отложениях и моллюсках из отдельных точек проводили с помощью непараметрического Mann-Whitney *U*-теста. Зависимость содержания тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков от химического состава окружающей среды определяли корреляционным анализом с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона. При статистической обработке данных использовали статистический программный пакет Statistica 4.3, StatSoft Inc. [10].

Результаты исследований

Средняя концентрация Zn в воде контрольных створов исследованных рек отличается статистически незначительно и составляет для Днепра $0,005 \pm 0,003$ мг/л, для Десны $0,003 \pm 0,002$ мг/л (рис. 1). Поступление сточных вод



1. Пространственная динамика содержания Zn, Ni и Cu в воде в районе поступления сточных вод коммунальных очистных сооружений: 1 — г. Чернигова (р. Десна); 2 — г. Киева (р. Днепр). Здесь и на рис. 2 и 3: * статистически значимые отличия ($p < 0,05$); ↓ точка впадения сточных вод.

приводит к резкому повышению концентрации металла в воде на участке 0,1—1,6 км до 0,03—0,04 мг/л. На расстоянии 1,6—1,8 км происходит резкое снижение содержания металла до контрольного уровня.

Среднее содержание Ni в воде контрольного створа р. Десны в 1,6 раза превышает содержание металла в р. Днепре и составляет $0,009 \pm 0,001$ и $0,006 \pm 0,001$ мг/л соответственно. Поступление сточных вод в Десну приводит к более существенному повышению содержания металла по сравнению с Днепром. Динамика изменения концентрации Ni в речной воде после поступления сточных вод показывает подобную картину на первых километрах русла исследованных участков обеих рек. Так, на расстоянии 1,8—3,1 км от источника сточных вод наблюдается стабильно повышенная концентрация Ni. Разбавления сточных вод не происходит. Затем, при удалении на 7 км, в

условиях Десны концентрация металла снижается и стабилизируется на фоновом уровне, тогда как в Днепре снижение продолжается и при удалении до 15 км, достигая уровня в 2,2 раза ниже контрольного.

Концентрация Cu в воде Десны на протяжении всего исследованного участка реки не достигает нижнего уровня чувствительности использованного аналитического метода и не превышает уровня 0,01 мг/л. В Днепре средняя концентрация Cu в контрольном створе составляет $0,013 \pm$

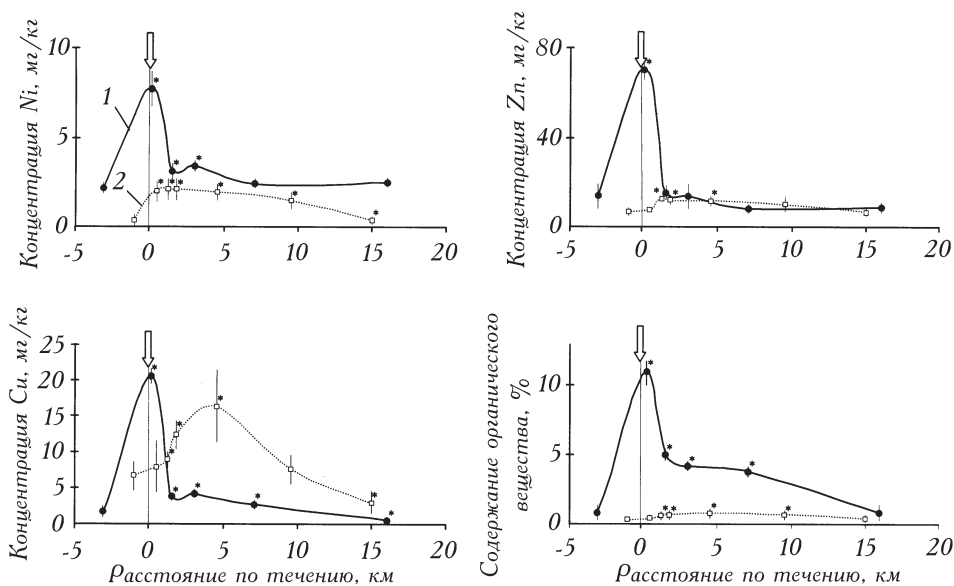
0,009 мг/л. После поступления сточных вод г. Киева происходит постепенное повышение уровня содержания данного металла в воде Днепра. Причем по мере удаления от источника загрязнения наблюдается постепенное увеличение концентрации Cu до $0,10 \pm 0,02$ мг/л на расстоянии 9,6 км. Отсутствие повышения содержания Cu непосредственно в районе сброса сточных вод и выявление загрязнения на некотором удалении от источника известно для р. Дон в районе очистных сооружений г. Волгодонска [1].

Среднее содержание Zn в донных отложениях р. Днепра на протяжении всего исследованного участка в 1,3—2,0 раза ниже, чем в р. Десне (рис. 2). Поступление загрязненных стоков г. Киева приводит к значимому увеличению концентрации Zn в донных отложениях Днепра только при удалении на расстояние 1,2 км от сброса очистных сооружений — с $7,0 \pm 2,1$ до $12,4 \pm 1,1$ мг/кг. По мере увеличения расстояния концентрация Zn плавно снижается, достигая в створе 9,6 км контрольного уровня. Поступление загрязненных стоков г. Чернигова в р. Десну создает район повышенного содержания Zn в донных отложениях на расстоянии 100 м от источника загрязнения, где концентрация металла достигает $70,2 \pm 4,6$ мг/л. Однако при удалении на 1,6 км происходит резкое снижение содержания до уровня, характерного для контрольного створа.

Содержание Ni в поверхностном слое донных отложений р. Днепра также в 1,2—5,5 раз ниже, чем в р. Десне. Поступление никеля с загрязненными стоками в Днепр приводит к повышению в 5,0—5,4 раза содержания металла в донных отложениях непосредственно в районе сброса. Снижение концентрации до контрольного уровня происходит медленно, и достигает его только на расстоянии 16 км. В то же время в р. Десне непосредственно в районе сброса концентрация Ni возрастает только в 3,6 раза, и уже на расстоянии 1,6 км происходит значительное снижение, в результате чего концентрация металла превышает контрольный уровень лишь в 1,5 раза.

Среднее содержание Cu в донных отложениях контрольного створа р. Днепра более чем в 4 раза превышает содержание в р. Десне и составляет 6,6 и 1,6 мг/кг соответственно. В районе непосредственного влияния сточных вод г. Киева концентрация Cu в донных отложениях, как и в воде, увеличивается статистически незначительно. Своего максимума содержание меди достигает только при удалении на 4,5 км от источника загрязнения, где составляет 16 ± 5 мг/кг, что в 2,5 раза превышает концентрацию, характерную для контрольного створа. С увеличением расстояния наблюдается плавное снижение концентрации Cu до контрольного уровня на расстоянии 9,6 км. В то же время в условиях поступления сточных вод в р. Десну непосредственно поблизости со сбросом сточных вод регистрируется резкое повышение содержания Cu в донных отложениях — с 1,6 до 20,4 мг/кг (в 12,4 раза). После чего, уже на расстоянии 1,6 км происходит снижение до $3,7 \pm 0,3$ мг/кг. При удалении на 16 км от источника загрязнения содержание металла в донных отложениях снижается до $0,6 \pm 0,3$ мг/кг, что в 2,6 раза меньше, чем уровень контрольного створа.

Содержание Zn в тканях *A. anatina* из незагрязненных участков исследованных водотоков статистически не различается: в р. Днепре в среднем со-



2. Пространственная динамика содержания Zn, Ni, Cu и органического вещества в донных отложениях р. Десны (1) и р. Днепра (2) в районе поступления сточных вод коммунальных очистных сооружений.

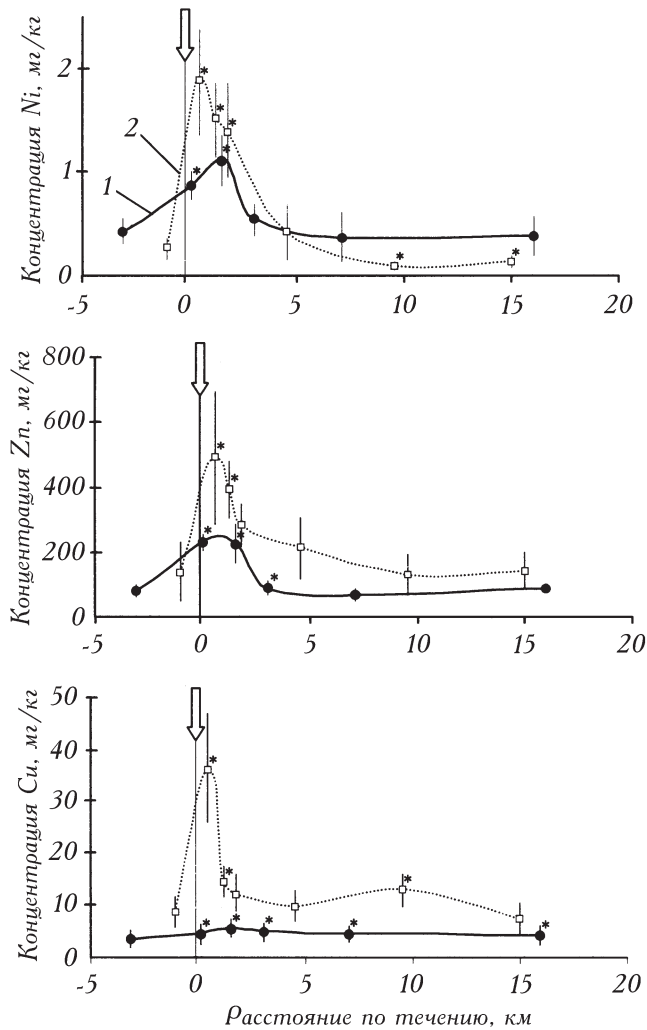
ставляет 140 ± 91 мг/кг, в р. Десне — 79 ± 19 мг/кг (рис. 3). В створе поступления сточных вод г. Киева содержание Zn в тканях моллюсков возрастает в 3,5 раза по сравнению с контрольными условиями и достигает 489 ± 204 мг/кг. Аналогичное повышение содержания данного металла в 3 раза наблюдается районе выпуска сточных вод в р. Десну, где концентрация достигает 228 ± 22 мг/кг. Динамика снижения содержания накопления цинка моллюсками по мере удаления от источника загрязнения оказалась близкой: снижение концентрации в 2,6 раз и достижение контрольного уровня содержания в условиях Днепра наблюдалось на расстоянии 3,1 км от сброса сточных вод, в условиях Десны подобное снижение в 2,3 раза происходило на расстоянии 4,5 км. Сравнение пространственной динамики накопления Zn моллюсками с изменениями содержания металла в окружающей среде показало, что наблюдается статистически значимая связь уровня накопления Zn тканями с концентрацией металла в донных отложениях и воде р. Десны на различных участках русла ($r = 0,69$ и $r = 0,70$ соответственно). В то же время в условиях р. Днепра наблюдается достоверная связь только между содержанием Zn в моллюсках и его концентрацией в воде ($r = 0,93$). Коэффициенты накопления данного металла *A. anatina* относительно воды составили в р. Десне 7600—25 000, в р. Днепре — 11 000—47 000.

Среднее содержание Ni в тканях *A. anatina* в контрольном створе р. Днепра достоверно в 1,7 раза ниже, чем на аналогичном участке р. Десны, и составляет $0,26 \pm 0,10$ мг/кг против $0,43 \pm 0,13$ мг/кг. В результате поступления сбросных вод очистных сооружений концентрация никеля в тканях моллюсков в условиях р. Днепра увеличивается более чем в 7 раз и достигает $1,9 \pm 0,5$ мг/кг. В условиях поступления загрязненных стоков в р. Десну

повышенное накопление Ni отмечается с некоторым запаздыванием на расстоянии 1,6 км ($1,12 \pm 0,25$ мг/кг). В условиях р. Днепра происходит более интенсивное снижение содержания металла в тканях моллюсков, когда при удалении от сброса на 4,5 км содержание Ni снижается в 4,5 раза, на расстоянии 16 км концентрация снижается в 13,4 раза и достигает среднего показателя $0,14 \pm 0,45$ мг/кг. В р. Десне содержание Ni снижается при удалении на 3,1 км в 2 раза, на расстоянии 7,1 и 16 км — в 3 раза, достигая фонового уровня. Динамика накопления Ni моллюсками в условиях поступления загрязненных стоков наиболее адекватно соответствует изменению содержания металла в воде исследованных водотоков: повышенные уровни Ni в тканях также регистрируются на расстоянии 1,6—1,8 км от источника загрязнения.

В результате коэффициент корреляции составил для р. Десны $r = 0,79$, для р. Днепра $r = 0,82$. Коэффициенты накопления данного металла *A. anatina* составили в р. Десне 40—96, в р. Днепре 15—207, что свидетельствует о значительной концентрационной способности данного вида моллюсков.

Анализ распределения содержания Cu в тканях *A. anatina* из контрольных створов исследованных рек показал, что моллюски из Днепра содержат в 2,5 раза больше данного металла, чем моллюски из Десны ($8,8 \pm 3,0$ и $3,6 \pm 0,4$ мг/кг соответственно). На участке непосредственного поступления стоков очистных сооружений г. Киева концентрация Cu в днепровских моллю-



3. Пространственная динамика накопления Zn, Ni и Cu в мягких тканях моллюсков *A. anatina* в р. Десне (1) и р. Днепре (2) в условиях поступления сточных вод.

сках более чем в 4 раза превышает показатели контрольного района и достигает $36,3 \pm 10,4$ мг/кг. По мере удаления от источника загрязнения наблюдается быстрое снижение уровня содержания Cu в тканях моллюсков. Так, на расстоянии 1,2 км от места впадения коммунальных стоков в р. Днепр концентрация снижается в 2,5 раза. Поступление стоков очистных сооружений г. Чернигова приводит к постепенному статистически значимому увеличению концентрации меди в тканях моллюсков: на расстоянии 100 м — до $4,7 \pm 0,9$ мг/кг (в 1,3 раза), на расстоянии 1,6 км — до $5,7 \pm 0,7$ мг/кг (в 1,6 раз). И только при удалении на расстояние более трех километров начинается медленное снижение содержания Cu. Таким образом, снижение концентрации данного металла в тканях моллюсков по мере удаления от источника загрязнения происходит более интенсивно в условиях р. Днепра. В результате, при удалении на 1,8 км от точки сброса содержание Cu достигает уровня, характерного для моллюсков из контрольного створа. При удалении на 16 км в условиях Десны концентрация металла не достигает контрольного уровня, так как снижается лишь в 1,2 раза. Динамика накопления Cu моллюсками не отражает распределение этого металла в донных отложениях и воде. Коэффициенты накопления данного металла *A. aptina* из воды колебались в пределах 0,6—4,5.

Обсуждение результатов исследования

Наблюдаемое изменение содержания тяжелых металлов в донных отложениях в условиях поступления сточных вод может отражать как процессы накопления металлов донными осадками, так и гетерогенность структуры самих донных отложений на различных участках русла. Обращает внимание значительное подобие динамики содержания всех рассматриваемых металлов в донных отложениях в пределах исследованного участка одной реки. При этом данные водотоки значительно отличаются по характеру динамики распределения тяжелых металлов в донных отложениях после поступления сточных вод.

Анализ особенностей состава донных отложений Днепра и Десны показал, что на всех исследованных участках первого водотока преобладали пески с различной степенью заиленности, тогда как во втором водотоке наблюдали тонкодисперсные глинистые отложения. Как результат, донные отложения р. Днепра оказались почти в 8 раз беднее органическим веществом, чем донные отложения р. Десны, что составило в среднем соответственно 0,5 и 4,2% (см. рис. 2). Колебания содержания органического вещества в донных отложениях вдоль русла от источника поступления сточных вод были сходны с изменением концентрации тяжелых металлов. Степень корреляции концентрации тяжелых металлов с содержанием органического вещества в донных отложениях р. Десны оказалась исключительно высокой: для Cu $r = 0,94$, для Zn $r = 0,91$, для Ni $r = 0,94$. В связи с меньшим содержанием тяжелых металлов в донных отложениях р. Днепра зависимость между накоплением тяжелых металлов в донных отложениях и содержанием органического вещества оказалась менее выраженной: для Cu $r = 0,87$, для Zn $r = 0,61$, для Ni $r = 0,65$.

Следовательно, повышенное содержание тяжелых металлов в донных отложениях в районе поступления сточных вод может являться следствием их обогащения органическим веществом. По мере удаления от места впадения стоков происходит снижение содержания органики в донных отложениях, и, как следствие, снижение концентрации тяжелых металлов. Это подтверждает тот факт, что органическое вещество является основным носителем тяжелых металлов в донных отложениях [2].

Содержание Zn и Ni в тканях моллюсков обоих водотоков в большей степени отражает динамику снижения концентрации металла в воде. Наблюдаемые отличия в уровнях накопления Zn и Ni моллюсками можно объяснить отличиями процессов разбавления поступающих количеств металла речной водой. Несмотря на близкие объемы сброса Zn и Ni очистными сооружениями г. Чернигова (0,38 и 0,41 т/год соответственно), концентрация в воде Zn на расстоянии 1,2 км от сброса резко снижается, в то время как концентрация Ni остается повышенной на расстоянии свыше 3 км ниже источника поступления загрязнения. При удалении на 3,1 км от сброса содержание Zn снижается в 2,6 раз, а Ni — в 2,0 раза; на расстоянии 7,1 км от сброса содержание Zn снижается в 3,2 раза, а Ni — в 3,0 раза. Несколько более медленное снижение концентрации Ni возможно связано с меньшей скоростью самоочищения воды от этого металла по сравнению с Zn. Так, коэффициент скорости самоочищения для Zn при температуре речной воды $> 15^{\circ}\text{C}$ составляет $0,6 \text{ сут}^{-1}$, тогда как для Ni этот показатель в два раза ниже и составляет $0,3 \text{ сут}^{-1}$ [11].

Подобная ситуация отмечена и в условиях р. Днепра, где объемы сброса этих металлов очистными сооружениями г. Киева одинаковы. Концентрация Zn в тканях *A. anatina* монотонно снижается на расстоянии первых двух километров ниже по течению от района сброса. В то же время содержание Ni на расстоянии 2 км от сброса изменяется незначительно.

Значительная аккумуляционная способность моллюсков приводит к более существенному повышению концентрации Ni в тканях при поступлении сточных вод (в 2,5 раза в р. Десне, в 7,0 раза в р. Днепре), чем в воде, где такое повышение составило 1,3 раза в условиях р. Десны и 1,6 раза — в р. Днепре. Поступление Zn со сточными водами приводит к резкому и контрастному повышению его концентрации в речной воде более чем в 8 раз. Однако быстрые процессы разбавления уже на расстоянии 1,6—1,8 км приводят к снижению содержания до контрольного уровня. В то же время моллюски на расстоянии до 9 км ниже источника загрязнения реагируют повышенным уровнем накопления данного металла, что делает их чувствительными индикаторами поступления Zn в речную экосистему.

Поступление Cu в составе сточных вод г. Чернигова (р. Десна) приводит к незначительному повышению содержания металла в тканях *A. anatina* в непосредственной близости от устья р. Белоус. Одновременно на этом участке наблюдается значительное повышение концентрации меди в донных отложениях. Поступление Cu в составе сточных вод г. Киева (р. Днепр) приводит к резкому повышению содержания металла в тканях моллюсков в непосредственной близости от сброса, однако в донных отложениях такого по-

вышения не регистрируется. Можно предположить, что процессы накопления Cu в донных отложениях, обогащенных органическим веществом, уменьшают биологическую доступность данного элемента для моллюсков. Выраженное влияние донных отложений на степень биодоступности Cu связано с тем, что данный металл более интенсивно образует комплексы с растворенным органическим веществом, по сравнению с Ni и Zn [7]. В результате 70—89% всей меди в донных отложениях связано с гуминовыми и фульвокислотами донных отложений. Доля связанного Zn при этом не превышает 30% [4, 21]. Подобные особенности накопления тяжелых металлов моллюсками были отмечены при поступлении сточных вод, обогащенных гуминовыми кислотами [14].

Повышение содержания Cu в тканях *A. anatina* более четко выявляет район непосредственного сброса сточных вод, по сравнению с химическим составом донных отложений и воды. Значительная скорость самоочищения водной толщи от Cu (коэффициент скорости самоочищения при $> 15^{\circ}\text{C}$ составляет $1,8 \text{ сут}^{-1}$ [11]) и процессы поглощения данного металла донными отложениями приводят к сложной пространственной динамике содержания Cu в воде при удалении от источника загрязнения.

Таким образом, моллюски демонстрируют бóльшую чувствительность к поступлению сбросных вод в речную экосистему, по сравнению с составом воды и донных отложений. Подобный результат был получен при анализе химического состава моллюсков из р. Дунай в пределах г. Вены [15]. Также, несмотря на подобие пространственного и временного распределения содержания тяжелых металлов в донных отложениях и моллюсках в условиях загрязнения бухты Сан-Франциско, моллюски демонстрировали более высокие уровни накопления [21]. Однако в некоторых случаях значительное обогащение сточных вод взвешенными веществами приводит к неспособности моллюсков аккумулировать некоторые тяжелые металлы непосредственно в районе сброса [13].

Заключение

Несмотря на процессы разбавления стоков и депонирование металлов донными отложениями, в условиях Днепра и Десны наблюдается накопление повышенного содержания Zn, Ni и Cu моллюсками *A. anatina* на значительном удалении от источника загрязнения. Данный факт свидетельствует о наличии биологически доступной фракции металлов даже по достижении фоновых уровней в воде. Таким образом, химический состав мягких тканей моллюсков наиболее адекватно отражает наличие и степень загрязнения участков реки, подверженных влиянию коммунально-бытовых сточных вод.

**

Досліджено накоплення Ni, Zn та Cu м'якими тканинами моллюсків Anodonta anatina (L.) в районі надходження стічних вод до р. Дніпро (комунальні очисні споруди м. Києва) та р. Десни (очисні споруди м. Чернігова). Показано, що вміст Ni та Zn у моллюсках відображає динаміку концентрації металів у воді нижче джерела забруднення. На накоплення Cu моллюсками впливає вміст органічної речовини у донних відкладах. Незважаючи на швидкі процеси розведення стоків та депонування ме-

талів донними відкладами спостерігається накопичення підвищених рівнів Zn, Ni та Cu молюсками на значному віддалені від джерела забруднення (понад 9 км). Зазначена властивість молюсків робить їх чутливим індикатором надходження неочищених стоків до річкових екосистем.

**

The accumulation of Ni, Zn and Cu by soft tissues of Anodonta anatina (L.) in sewage outflow area by the Dnieper river (municipal wastewater treatment plant of Kiev city) and the Desna river (municipal wastewater treatment plant of Chernigov city). The Ni and Zn concentrations in mussels depended on downstream changes of water metal content below the source of the contamination. The organic matter of the bottom sediments influences upon accumulation of Cu by mussels. In spite of quick processes of the diluting sewage and depositions metal by bottom sediments the accumulation of increased levels of metals by mollusks on significant distance from the source of the contamination (above 9 km) is observed. This characteristic allows mussels to be a sensitive indicator of the inflow of unpurified sewage into the river ecosystems.

**

1. Бессонов О.А., Белова С.Л., Боголазкин Д.И. и др. Биогеохимический цикл тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона / Под ред. П. Ф. Молодкина. — Ростов-н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 1991. — 112 с.
2. Ганеева М.В., Гребенюк Л.П., Томилина И.И., Ершов Ю.В. Определение качества донных отложений на основе применения статистических методов анализа данных (на примере р. Сестры) // Вод. ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 4. — С. 576—581.
3. Ермаченко Л.А., Ермаченко В.М. Атомно-адсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. — М.: Чувашия, 1997. — 92 с.
4. Кочарян А.Г., Веницианов Е.В., Сафонова Н.С., Серенькая Е.П. Сезонные изменения форм нахождения тяжелых металлов в водах и донных отложениях Куйбышевского водохранилища // Вод. ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 4. — С. 443—451.
5. Лукашев Д.В. Метод расчета фоновых концентраций тяжелых металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков для оценки загрязнения р. Днепр // Биология внутр. вод. — 2007. — №. 4 — С. 97—106.
6. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. — 689 с.
7. Моисеенко Т.И. Определение критических уровней комплексного загрязнения поверхностных вод металлами // Докл. РАН. — 2001. — Т. 380. — С. 138—141.
8. Никаноров А.Н., Жулигов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 291 с.
9. Отчет по выполнению Цели 1-Программы ПРООН-ГЭФ экологического оздоровления бассейна реки Днепр: «Внедрение более чистых методов производства в Украине». — Харьков-Киев, 2007. — PDF В: RER/05/G43. — 86 с. (http://www.dnipro-gef.net/Task%201%20Report%20UA%20May%202007_ua.doc).

10. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. — М.: МедиаСфера, 2002. — 312 с.
11. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. — К.: Ніка-центр, 2001. — 264 с.
12. Bervoets L., Voets J., Chu S. et al. Comparison of accumulation of micropollutants between indigenous and transplanted zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) // Environ. Toxicol. Chemistry. — 2004. — Vol. 23. — P. 1973—1983.
13. Gagnon C., Gagne F., Turcott P. et al. Exposure of caged mussels to metals in a primary-treated municipal wastewater plume // Chemosphere. — 2006. — Vol. 62. — P. 998—1010.
14. Griscom S.B., Fisher N.S., Luoma S.N. Geochemical influences an assimilation of sediment-bound meals in clams and mussels // Environ. Sci. Technol. — 2000. — Vol. 34. — P. 91—99.
15. Gundacker C. Comparison of heavy metal bioaccumulation in freshwater molluscs of urban river habitats in Vienna // Environ. Poll. — 2000. — Vol. 110. — P. 61—71.
16. Hare L., Tessier A., Croteau M.N. A biomonitoring for tracking changes in the availability of lakewater cadmium over space and time // Human and Ecol. Risk. Assess. — 2008. — Vol. 14. — P. 229—242.
17. Kwan K.M., Chan H.M., Lafontaine Y. Metal contamination in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) along the St. Lawrence river // Environ. Monitor. Assess. — 2003. — Vol. 88. — P. 193—219.
18. Manly R. George W. The occurrence of some heavy metals in populations of the freshwater mussel *Anodonta anatina* (L.) from the river Thames // Environ. Poll. — 1977. — Vol. 14. — P. 139—154.
19. Ravera O., Beone G.M., Trincerini P.R., Riccardi N. Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state // J. Limnol. — 2007. — Vol. 66. — P. 28—39.
20. Salanki J., Farkas A., Kamardina T., Rozsa K.S. Molluscs in biological monitoring of water quality // Toxicol. Lett. — 2003. — Vol. 140—141. — P. 403—410.
21. Thomson E.A., Luoma S.N., Johansson C.E., Cain D.J. Comparison of sediments and organisms in identifying sources of biologically available trace metal contamination // Water Res. — 1984. — Vol. 18. — P. 755—765.
22. V.-Balogh K. Comparison of mussels and crustacean plankton to monitoring heavy metal pollution // Bull. Environ. Contam. Toxicol. — 1988. — Vol. 41. — P. 910—914.
23. Wildi W., Dominik J., Loizeau J-L. et al. River, reservoir and lake sediment contamination by heavy metals downstream from urban areas of Switzerland // Lakes and reservoirs: Research and management. — 2004. — Vol. 9. — P. 75—87.