

УДК 504.064:594.141

Д. В. Лукашев

**ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В
ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКАХ УКРАИНСКОГО
УЧАСТКА Р. ДЕСНЫ**

Изучены особенности распределения тяжелых металлов (Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Co и Fe) в воде, донных отложениях и двустворчатых моллюсках *Anodonta anatina* и *Unio tumidus* в пределах украинского участка р. Десны. Показано превышение уровня ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по содержанию в воде Mn, Fe и Cu на большей части русла. В то же время даже поступление сточных вод г. Чернигова не приводит к превышению нормативов по содержанию Cd, Cr и Ni. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков характеризуется сложной пространственной динамикой: Cd и Ni — постепенно повышается в направлении от верховьев реки к ее устью; Cu и Zn — монотонно снижается по направлению к устью; Fe, Cr, Mn и Co — повышается в среднем течении и снижается при приближении к устью. Рассчитаны фоновые уровни тяжелых металлов в тканях моллюсков. Показано, что районы превышения фоновых уровней накопления Mn, Cr, Fe и Co наблюдаются на участке реки в пределах границы Черниговской и Сумской областей. Содержание Ni повышается в районе устья Десны. Данные районы можно считать загрязненными этими химическими элементами.

Ключевые слова: тяжелые металлы, фоновая концентрация, двустворчатые моллюски.

Река Десна является крупнейшим притоком Днепра, протекающим по территории России и Украины. Длина украинского участка реки составляет 591 км (более 52% общей длины), площадь бассейна — 33 382 км² (38% общей площади бассейна). Воды Десны, наряду с водами Припяти, оказывают ведущее влияние на общий баланс водности Днепра, его ионный сток. Кроме того, вода р. Десны является важным источником питьевого водоснабжения для столичного мегаполиса — Киева (составляет 60% общего объема потребляемой воды). Такое использование деснянской воды возможно благодаря тому, что данный водоток протекает по относительно малонаселенному району Украины с незначительным развитием промышленного производства. В результате данная река является одной из немногих на территории Украины, сохранивших природные ландшафты и высокое разнообразие водной флоры и фауны [13].

Однако бассейн Десны в последние годы подвергается все возрастающему антропогенному воздействию. Так, в 200 км выше по течению от Деснян-

© Лукашев Д. В., 2011

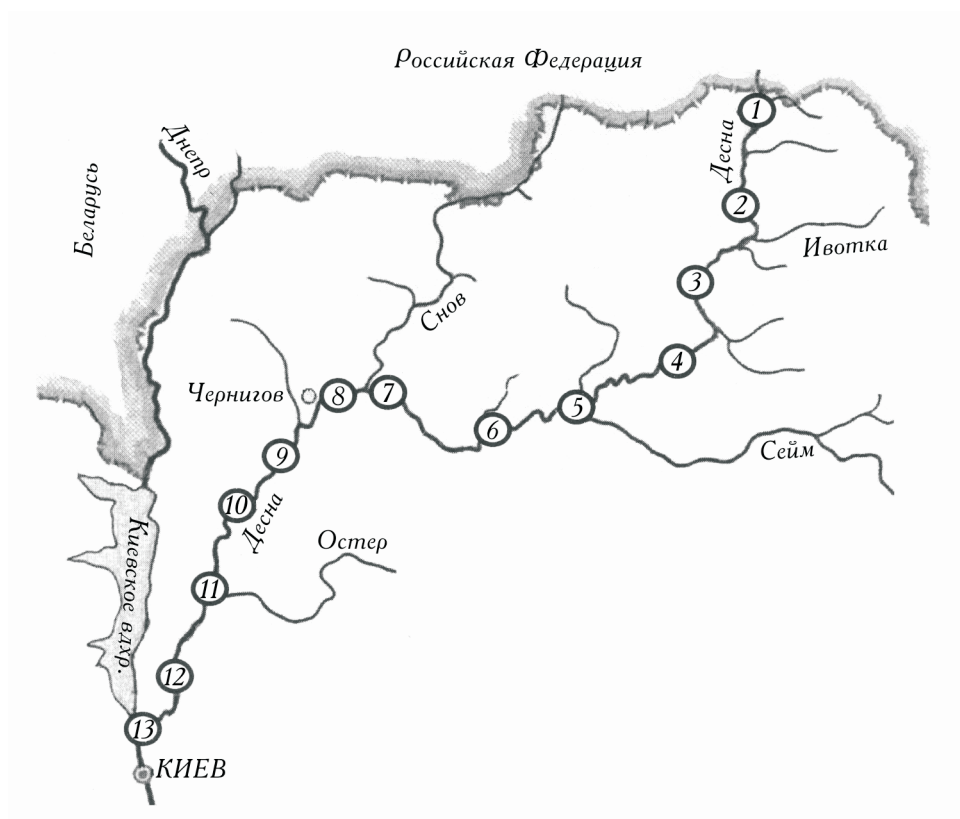
ского водозабора питьевого водоснабжения г. Киева расположен крупный областной центр г. Чернигов. Коммунальное предприятие «Черниговводоканал» является крупнейшим загрязнителем Десны, сбросы которого могут представлять опасность для водозабора столицы. В населенных пунктах вдоль Десны, на участке от Чернигова до Киева, ведется интенсивное строительство крупных коттеджных поселков.

Все это привело к тому, что в последние годы к экологическому состоянию данной реки обращено пристальное внимание общественности и специалистов. Вышел в свет ряд научных публикаций, посвященных современным проблемам экосистемы Десны [11, 16]. Представленная работа является продолжением серии прикладных исследований по применению фоновых уровней накопления тяжелых металлов моллюсками для количественной оценки степени загрязнения природных экосистем [7, 8].

Как было показано нами ранее [6], использование показателей химического состава воды не является адекватной оценкой уровня загрязнения водной экосистемы. Рассчитанные нормативы предельно допустимых концентраций металлов для питьевой воды (ПДК_в), имеющие санитарно-гигиеническую основу, могут служить исключительно для оценки опасности здоровью человека и не отражают степени благополучия природных экосистем. Более того, ПДК_в не может служить критерием загрязнения по определению: «В основу гигиенического норматива — ПДК_в — берут максимальные *загрязнения* в воде водоемов, при которых сохраняется безопасность для здоровья человека и нормальные условия водопользования» ([1], с. 17, курсив наш). Широко применяемые в экологических исследованиях нормативы предельно-допустимых концентраций металлов для воды водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{вр}) являются излишне строгими по причине заниженности уровней, установленных экспериментально для ионных форм металлов [15].

Организмы-биоиндикаторы (мониторы) широко используются для выявления низких уровней загрязнения, их непериодических поступлений, выявления биологически опасных (доступных) уровней вредных веществ в водных экосистемах. Наиболее методически разработанным является применение с этой целью моллюсков [19]. Высокие показатели накопления металлов моллюсками и, одновременно, их относительная устойчивость к широкому спектру загрязнителей делает этих гидробионтов удобным объектом биомониторинга. В отличие от биоиндикационных работ, использующих токсикологические показатели, расчет фонового содержания металлов позволяет регистрировать загрязнение до появления патологических процессов у гидробионтов.

Материал и методика исследований. Материал отбирали на протяжении августа 2008 и 2009 гг. на 13 станциях вдоль русла р. Десны на территории Украины от с. Камень (Черниговская обл.) до Деснянского водозабора г. Киева (рис. 1). Таким образом, исследование охватило среднее и нижнее течение р. Десны. На обозначенных станциях был проведен отбор мягких тканей моллюсков (по 8—16 экз. каждого вида), проб воды (по три повторности) и образцов верхнего 5-см слоя донных обложений (по три пробы). Были



1. Расположение станций отбора проб на украинском участке р. Десны: 1 — с. Камень; 2 — с. Домотканов (выше г. Новгород-Северского); 3 — с. Свердловка; 4 — с. Придеснянское (пгт Короп); 5 — пгт Сосница; 6 — с. Макаски (район пгт Макошино); 7 — с. Локнистое (район пгт Березны); 8 — с. Бобровица (выше г. Чернигова); 9 — с. Шестовица; 10 — с. Надиновка; 11 — г. Остер; 12 — с. Летки; 13 — Деснянский водозабор г. Киева.

использованы моллюски стандартных размеров: *A. anatina* длиной 80—90 мм, *U. tumidus* — 60—65 мм.

С целью выяснения влияния точечного источника загрязнения на содержание тяжелых металлов в компонентах экосистемы р. Десны был проведен отбор проб моллюсков *A. anatina*, воды и донных отложений на девяти станциях на различном удалении от устья р. Белоус, являющейся местом сброса очистных сооружений ГКП «Черниговводоканал».

Пробоподготовку, анализ химического состава образцов тканей моллюсков, донных отложений и воды проводили согласно принятым методикам, описанным ранее [8, 9]. Определение концентрации Mn, Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu, Co и Ni проводили при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра С115-М1 (пламя ацетилен — воздух) с дейтериевым корректором фона и компьютерного аналитического комплекса КАС-101. Концентрацию металлов в донных отложениях и мягких тканях моллюсков выражали в мг/кг массы сухого вещества, в воде — в мкг/л.

Оценку нормальности распределения значений концентрации металлов в выборках проводили с помощью критерия Шипиро — Уилка ($p < 0,05$). В качестве средней величины концентрации использовали непараметрическое среднее — медиану концентрации Me . Мерой вариабельности медианы концентрации служило стандартное отклонение медианы SD_{Me} [17]. Определение статистической значимости отличий величины выборочных показателей проводили с помощью непараметрического теста Манна — Уитни [18]. Влияние отбора проб на содержание тяжелых металлов оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, $p < 0,05$). Линейность зависимости содержания металлов в тканях моллюсков от химического состава абиотических компонентов водной экосистемы определяли с помощью коэффициента корреляции Спирмена [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ пространственной динамики химического состава воды вдоль исследованного участка русла р. Десны показал, что для Zn, Mn и Cr характерно закономерное изменение содержания растворенных форм (табл. 1). Концентрация Zn в верхней части среднего течения реки составляла 7,3—12,0 мкг/л (ст. 1—4) и статистически значимо превышала уровень, характерный для нижнего участка русла (3,9—6,8 мкг/л). При этом на ст. 2—3 зарегистрировано превышение уровня ПДК_{вр} для данного элемента. Следует отметить, что подобная тенденция пространственного распределения этого металла вдоль речного русла была характерна и для р. Южный Буг [10]. Концентрация Mn, в отличие от Zn, характеризовалась обратной зависимостью: повышенный уровень (105—124 мкг/л), который превышает допустимые ПДК_{вр}, был характерен для нижнего участка Десны. В то же время, в верховьях реки вода содержала сравнительно невысокую концентрацию металла (52—74 мкг/л). Следует отметить, что на всем протяжении русла речная вода характеризуется более чем 10-кратным превышением уровня ПДК_{вр} для Mn. Концентрация Cr в речной воде характеризовалась сложной пространственной динамикой. В среднем течении отмечены статистически значимые колебания концентрации данного металла ($p < 0,05$), когда одновременно с районами низкого содержания (0,3—0,4 мкг/л) имеются участки повышенной концентрации (1,2—2,0 мкг/л). По мере приближения к устью реки происходит постепенное возрастание концентрации Cr в воде от 0,4 до 0,9 мкг/л. Подобная тенденция обогащения Cr воды в нижнем течении реки была описана для р. Южный Буг [10].

Концентрация растворенных форм Cd в речной воде характеризовалась статистически незначительными колебаниями (ANOVA, $p > 0,05$). Содержание Cu и Ni в воде р. Десны изменяется в значительных пределах, однако какой-либо закономерности относительно русла не выявлено. Концентрация Cu в воде на большинстве исследованных станций превышала уровень ПДК_{вр} (0,6—2,6 мкг/л). Следует отметить, что за почти 50-летний период концентрация данных металлов в воде р. Десны практически не изменилась. Так в 1961—1963 гг. концентрация Cu в воде выше устья р. Шостки колебалась пределах 0,8—2,0 мкг/л, концентрация Ni при этом составляла 0,8—1,5 мкг/л. Ниже впадения р. Сейм концентрация данных металлов составляла соответственно 3,0 и 1,2 мкг/л [5].

1. Медиана концентрации растворимых форм тяжелых металлов (мкг/л) в воде из различных районов р. Десны ($Me \pm SD_{Me}$, $n = 3$)

Станции	Cd		Zn		Mn		Cr		Cu		Ni		Fe		Co	
	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}
1	0,08	0,03	7,3	2,1	62	30	0,4	0,2	2,6	1,0	0,54	0,27	140	28	< 0,06	—
2	0,17	0,03	12,0	3,4	64	31	0,3	0,1	0,6	0,3	< 0,03	—	122	18	< 0,06	—
3	0,15	0,05	10,7	4,0	74	13	1,2	0,5	1,2	0,6	0,90	0,45	173	36	< 0,06	—
4	0,11	0,05	8,3	4,0	52	15	0,3	0,1	0,7	0,4	1,64	0,48	108	24	0,33	0,12
5	0,05	0,02	3,9	1,9	99	18	2,0	0,3	2,0	0,6	0,66	0,33	189	38	0,09	0,04
6	0,07	0,03	3,4	1,6	105	22	0,4	0,2	0,7	0,4	0,43	0,21	139	19	0,33	0,05
7	0,09	0,04	6,8	3,2	142	27	0,7	0,3	1,3	0,5	2,09	0,50	193	37	< 0,06	—
8	0,11	0,04	3,5	1,7	114	25	0,7	0,2	1,4	0,7	0,72	0,36	139	20	0,11	0,04
9	0,10	0,03	5,2	2,5	102	22	0,6	0,3	2,6	0,9	0,53	0,26	117	21	0,09	0,05
10	0,13	0,06	4,3	2,1	107	23	0,7	0,3	0,7	0,3	< 0,03	—	118	25	0,18	0,05
11	0,12	0,02	4,3	2,0	124	41	0,7	0,1	1,9	0,7	0,44	0,22	113	31	< 0,06	—
12	0,07	0,03	4,0	1,9	106	18	0,5	0,2	1,0	0,5	0,54	0,27	125	15	< 0,06	—
13	0,10	0,04	6,0	2,9	110	25	0,9	0,3	1,1	0,5	< 0,03	—	123	15	< 0,06	—
Р. Белоус	0,21	0,06	29,9	8,8	171	38	4,9	0,9	3,1	1,1	6,05	1,49	936	155	0,13	0,05
ПАК _Б	1,00		100		100		500		1000		100		300		100	
ПАК _{Бр} [4]	0,50		10		10		5		1		10		100		10	

Концентрация Fe в воде на всем исследованном участке Десны также превышала критическую величину ПДК_{вр}. В среднем течении наблюдаются значительные колебания содержания данного металла. В нижнем течении происходит выравнивание концентрации Fe (113—125 мкг/л). Высокое содержание Fe и Mn может отражать наличие в этом районе заболоченной водосборной территории, обогащающей поверхностный сток органическими комплексами данных металлов [2].

Поступление стоков очистных сооружений г. Чернигова приводит к резкому повышению концентрации в воде всех исследованных металлов (за исключением Co) в месте впадения р. Белоус в р. Десну. На расстоянии 100 м ниже сброса происходит значительное разбавление сточных вод деснянской водой, в результате чего концентрация металлов снижается в 1,3—20,7 раза. Однако даже в месте разгрузки сточных вод содержание некоторых металлов не превышает существующие нормативы. Так, концентрация Cd, Cr и Ni даже не достигает уровня жестких нормативов ПДК_{вр}. Таким образом, сравнение химического состава воды с показателем ПДК_{вр}, который часто используют в качестве экологического норматива, не дает однозначного ответа о наличии загрязнения р. Десны. С одной стороны, невозможно утверждать о загрязнении экосистемы р. Десны такими токсичными металлами, как Cd, Cr, Ni и Co, даже в районе очевидного загрязнения. С другой стороны, превышение существующих нормативов по содержанию Mn, Cu и Fe на всем протяжении речного русла не может являться показателем антропогенного загрязнения, что особенно заметно в районе поступления сточных вод г. Чернигова. В этом случае показатель ПДК_{вр} не обладает достаточной разрешающей способностью.

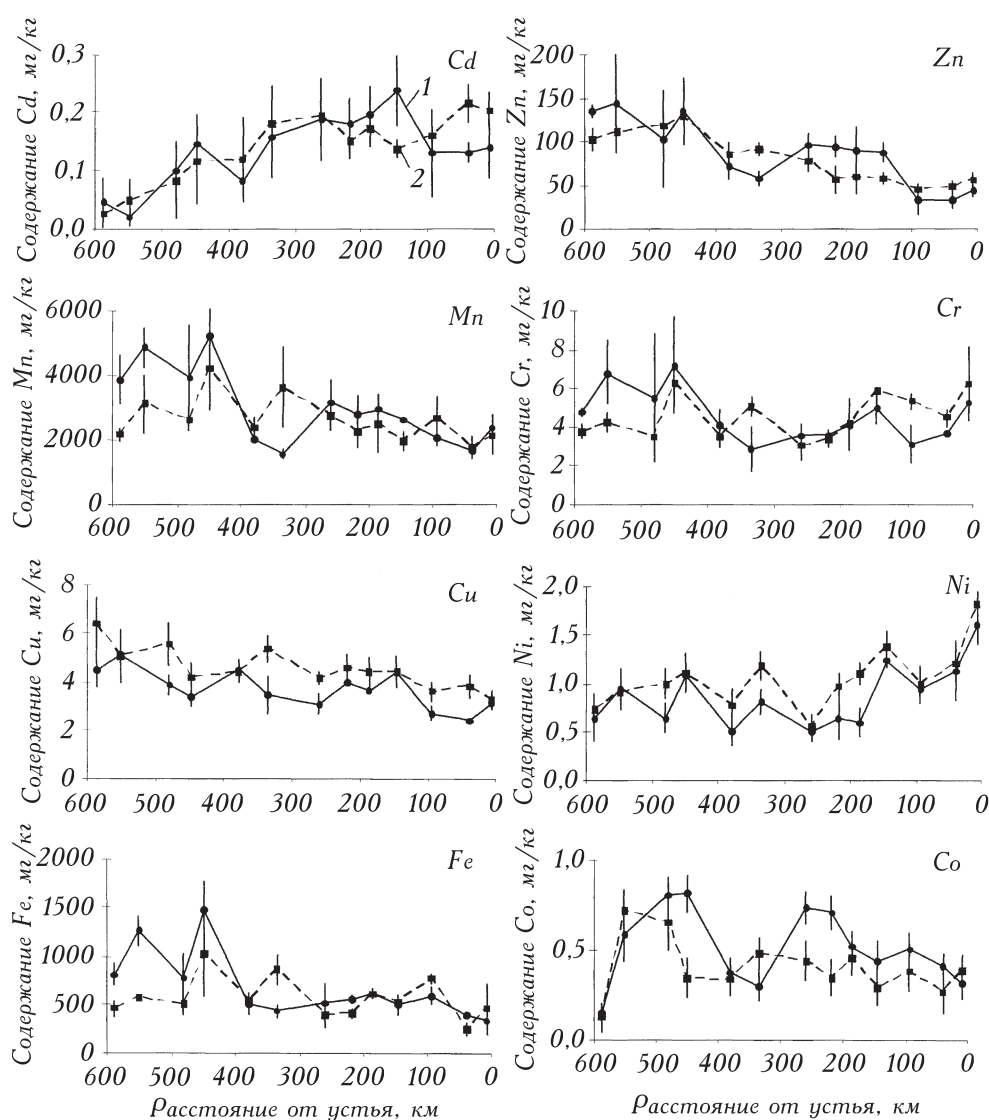
Анализ содержания кислоторастворимой фракции тяжелых металлов в верхнем 5-сантиметровом слое донных отложений показал ранее установленную зависимость химического состава донных отложений Десны от содержания органического вещества [9]. Наибольшее обогащение органическим веществом донных отложений наблюдали на ст. 3, 4, 9 и 12 (табл. 2). Как результат, наивысшую концентрацию всех исследованных металлов выявлено именно на этих участках. Коэффициент корреляции Спирмена между содержанием органического вещества и концентрацией тяжелых металлов колебался от +0,66 (для Fe) до +0,95 (для Zn). Содержание Cd в донных отложениях на всех участках русла находилось ниже минимального детектируемого уровня химико-аналитического метода (< 0,01 мг/кг).

Сравнение уровней накопления тяжелых металлов моллюсками показало наличие позитивной связи между концентрацией Zn в мягких тканях и воде (коэффициент корреляции Спирмена для *A. anatina* составлял +0,70, для *U. tumidus* — +0,74, $p < 0,05$). Накопление моллюсками *A. anatina* Fe и Co зависит от их содержания в донных отложениях (коэффициент корреляции составил соответственно +0,57 и +0,59, $p < 0,05$). Причем для *U. tumidus* такой зависимости не выявлено.

Анализ пространственного распределения тяжелых металлов в тканях моллюсков показал для всех металлов наличие закономерного изменения содержания вдоль речного русла Десны (ANOVA, $p < 0,05$) (рис. 2). Измене-

2. Медиана содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов (мг/кг) в донных отложениях из различных районов р. Десны ($Me \pm SD_{Me}, n = 3$)

Станции	Содержание орг. в-ва, %		Zn		Mn		Cr		Cu		Ni		Fe		Co	
	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}	Me	SD _{Me}
1	1,3	2,4	5,2	2,4	710	132	8,8	4,4	2,0	1,0	1,6	0,8	4210	405	1,1	0,5
2	1,2	7,7	7,7	3,5	320	152	16,0	8,0	2,3	1,2	2,5	0,8	2690	645	0,8	0,2
3	3,5	16,2	16,2	5,2	1140	351	23,8	5,9	4,4	1,2	3,6	0,9	5270	635	2,4	0,3
4	3,7	13,0	13,0	5,9	1110	129	20,9	5,5	4,7	1,4	4,3	0,6	5060	532	2,7	0,2
5	1,1	5,4	5,4	2,5	180	86	11,0	5,2	1,1	0,8	1,2	0,6	1410	507	0,6	0,2
6	2,1	10,7	10,7	4,9	540	257	19,0	7,5	2,5	1,0	2,2	0,9	3170	585	1,2	0,3
7	0,9	4,2	4,2	1,9	150	70	9,5	4,8	1,1	0,6	1,5	0,8	1170	521	0,8	0,3
8	1,7	8,1	8,1	2,4	415	198	11,4	5,7	1,7	0,9	2,0	1,0	1200	451	1,7	0,4
9	4,2	18,2	18,2	3,2	688	228	17,3	6,7	3,0	1,2	3,3	1,1	2700	350	1,2	0,4
10	0,9	4,7	4,7	2,1	200	95	9,7	4,9	1,4	0,7	1,5	0,8	1430	517	0,9	0,3
11	1,5	5,6	5,6	2,5	350	167	12,4	6,2	1,5	0,8	2,2	0,9	1950	575	1,2	0,2
12	2,7	9,2	9,2	4,2	720	234	17,2	6,2	2,6	1,1	2,7	0,9	3290	645	1,3	0,3
13	1,4	4,9	4,9	2,2	250	119	13,7	6,9	1,3	0,7	2,3	1,2	2200	510	1,2	0,3
Р. Белоус	9,7	70,2	70,2	15,3	1730	402	39,5	8,8	19,0	2,5	4,3	1,0	16750	988	1,7	0,2



2. Пространственная динамика накопления тяжелых металлов в тканях моллюсков *A. anatina* (1) и *U. tumidus* (2) на украинском участке р. Десны ($Me \pm SD_{Me}$, $n = 8-16$).

ние содержания металлов характеризовалось подобной пространственной динамикой для обоих исследованных видов моллюсков, что свидетельствует об общих закономерностях накопления химических элементов.

Содержание Cd и Ni в моллюсках постепенно повышается в направлении от верховьев реки к ее устью. Наиболее интенсивно происходит рост накопления Cd, содержание которого увеличивается с 0,02—0,05 до 0,21—0,24 мг/кг, то есть возрастает в 9—12 раз. Содержание Ni на участке от государственной границы с Российской Федерацией до г. Чернигова су-

щественно не изменяется (ст. 1—9), за исключением района пгт Короп Черниговской обл. (ст. 4), где наблюдается повышение накопления большинства исследованных металлов как в тканях моллюсков, так и в донных отложениях. В нижнем течении Десны происходит резкое возрастание концентрации Ni в тканях моллюсков. Следует отметить, что подобное постепенное повышение уровня накопления этих металлов двусторчатými моллюсками в нижнем течении было отмечено и для р. Южный Буг [10]. Постепенное увеличение содержания Cd и Ni в тканях моллюсков может отражать возрастающее антропогенное загрязнение экосистемы Десны в пределах территории Украины. Причем наиболее динамично увеличивается содержание Cd, являющегося важнейшим технофильным элементом [14].

Пространственное распределение Cu, Zn, Fe, Cr, Mn и Co в моллюсках на различных участках русла р. Десны характеризуется противоположной закономерностью. Накопление металлов в тканях моллюсков заметно снижается в направлении от верховьев к устью р. Десны (за исключением Cr, концентрация которого резко возрастает в районе устья). При этом максимальные величины накопления Fe, Mn, Cr и Co наблюдаются на удалении 18—157 км от государственной границы с Российской Федерацией, что может свидетельствовать о процессах формирования загрязнения уже на территории Украины. В верхней части среднего течения река пересекает однородное геохимическое поле грунтовых вод Новгород-Северского Полесья со своеобразным химическим составом [2]. На этой территории преобладают ландшафты морено-зандровых, зандровых террасовых равнин с островами эродированных серых лесных почв [11]. Как результат, для этой территории является характерным интенсивный поверхностный сток, в результате которого в бассейн Десны поступает значительное количество терригенных загрязняющих веществ. Возможно, благодаря этому происходит обогащение вод биодоступной фракцией Fe и Mn.

Кроме того, значительный вклад в загрязнение данного района может оказывать промышленный комплекс г. Шостки (левобережный приток р. Шостки) [11]. Донные отложения в этом районе (ст. 3—4) значительно обогащены тяжелыми металлами, несмотря на то, что ст. 3 расположена на расстоянии 40 км ниже устья р. Шостки. Интересно отметить, что исследованиями, проведенными в 1961—1963 гг. на участке устье р. Шостки — пгт Короп, было также выявлено значительное загрязнение воды и донных отложений неизвестного происхождения [5].

После впадения в Десну крупнейшего притока р. Сейм происходит разбавление загрязнений благодаря низкому содержанию металлов в воде этой реки, а также значительному вкладу ее стока в водообеспечение р. Десны [11]. В результате, на участке ниже слияния этих рек происходит резкое снижение уровня накопления тяжелых металлов в моллюсках и донных отложениях.

Содержание Cu и Zn в тканях моллюсков монотонно снижается непосредственно от государственной границы с Российской Федерацией. Возможно, повышенное накопление этих металлов моллюсками отражает трансграничный перенос загрязнения, источником которого являются пред-

приятия на территории Брянской обл., где превышение норм сброса загрязняющих веществ в водные объекты характерно практически для всех предприятий, имеющих выпуски в поверхностные водные объекты [3].

Значительные по объему данные о концентрации тяжелых металлов в тканях моллюсков, равномерно охватывающие украинскую часть р. Десны, позволяют рассчитать фоновые уровни содержания металлов для *A. anatina* и *U. tumidus* (табл. 3).

Рассчитанные фоновые уровни дают возможность количественно оценить степень загрязнения различных участков р. Десны по уровням накопления металлов моллюсками. Для *A. anatina* отмечены такие районы повышенного содержания тяжелых металлов (коэффициент указывает кратность превышения верхнего фонового предела): ст. 1 — с. Камень: $Cu_{1,2}Fe_{1,1}$; ст. 2 — с. Домотканов (выше г. Новгород-Северского): $Mn_{1,3}Cr_{1,1}Cu_{1,1}Fe_{1,7}$; ст. 4 — пгт Короп: $Mn_{1,4}Cr_{1,2}Fe_{2,0}$; ст. 13 — Деснянский водозабор, г. Киев: $Ni_{1,2}$.

Для *U. tumidus* отмечены следующие районы повышенного содержания тяжелых металлов: ст. 2 — с. Домотканов (выше г. Новгород-Северского): $Co_{1,3}$; ст. 4 — пгт Короп: $Mn_{1,2}Fe_{1,7}Co_{1,2}$; ст. 6 — с. Максаки (район пгт Макошино): $Fe_{1,2}$; 8 — с. Бобровица (выше г. Чернигова): $Mn_{1,3}$; 9 — с. Шестовица (ниже г. Чернигова): $Mn_{1,6}$; 13 — Деснянский водозабор, г. Киев: $Ni_{1,2}$.

Таким образом, несмотря на подобие распределения содержания металлов в тканях моллюсков разных видов вдоль течения Десны, они показывают некоторые отличия в индикаторных способностях. Наибольшее количество загрязненных районов и широкий спектр металлов показывает *A. anatina*. В верхней части среднего течения этот вид регистрирует превышение фоновых уровней для Fe, Cr, Cu и Mn. В том же районе *U. tumidus* регистрирует повышенное накопление Fe, Mn и Co. Особый интерес представляет повышенное накопление Ni обоими видами моллюсков в районе устья Десны, которое в 1,2 раза превышает значение верхнего фонового предела. Кроме того, несмотря на рост содержания Cd по направлению к устью, ни на одном из исследованных участков русла превышения верхнего фонового предела не обнаружено.

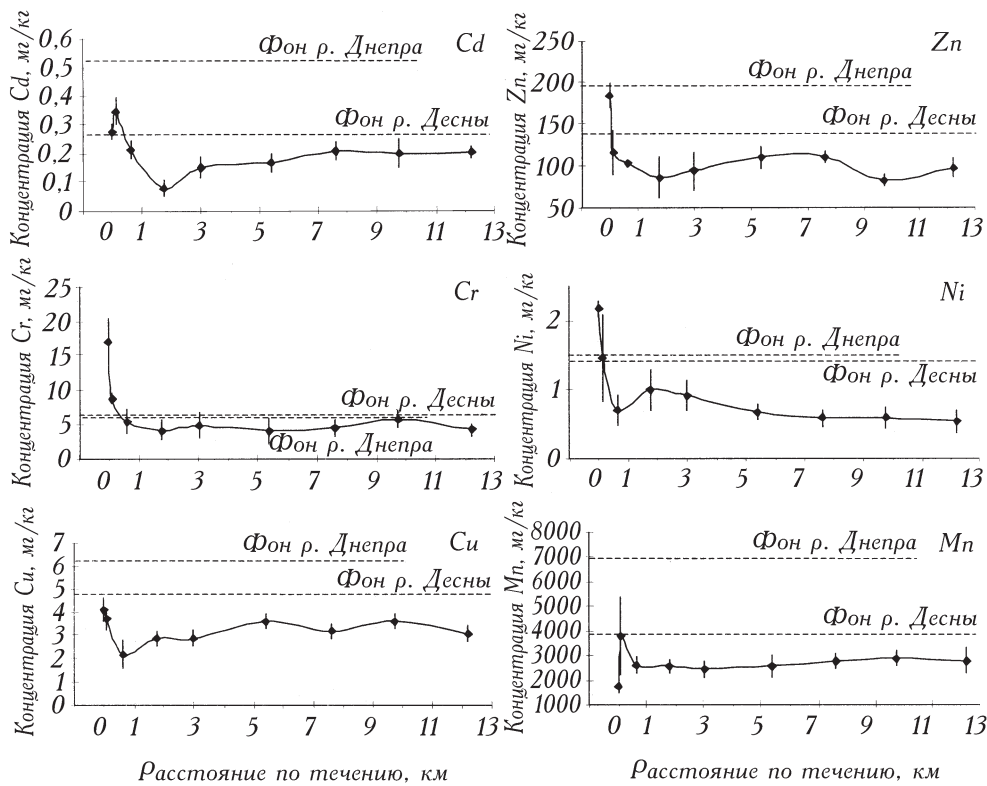
Сравнение рассчитанных фоновых уровней накопления тяжелых металлов деснянскими моллюсками с ранее опубликованными данными для р. Днепра [7] показало, что днепровские *A. anatina* и *U. tumidus* характеризуются более высокими показателями накопления большинства металлов (см. табл. 3). И если нижний фоновый предел для моллюсков из обеих водных систем отличается незначительно, возможно отражая некоторую физиологическую норму, то верхний фоновый предел в большинстве случаев значительно выше в условиях Днепра. Наибольшие отличия были характерны для накопления Cd. Кроме того, днепровские моллюски характеризовались в 2—4 раза более высокими уровнями накопления Fe и Mn. Обращает внимание близкие фоновые уровни накопления Ni моллюсками из рек Днепра и Десны.

3. Фоновое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в мягких тканях моллюсков из рек Десны и Днепра [7]

Металлы	Средний фоновый уровень		Нижний предел фона		Верхний предел фона	
	р. Десна	р. Днепр	р. Десна	р. Днепр	р. Десна	р. Днепр
<i>A. anatina</i>						
Cu	3,4	5,1	2,1	3,9	4,8	6,3
Fe	508	841	274	80	742	1602
Ni	0,83	0,84	0,26	0,24	1,40	1,44
Cd	0,14	0,45	0,01	0,02	0,26	0,88
Mn	2579	5195	1367	1228	3790	9161
Zn	81	125	23	56	138	193
Cr	3,9	5,3	1,9	0,1	6,0	10,5
Co	0,46	0,75	0,04	0,19	0,89	1,30
<i>U. tumidus</i>						
Cu	4,1	6,2	2,8	4,7	5,5	7,7
Fe	520	1605	304	55	736	3154
Ni	1,06	1,32	0,60	0,53	1,51	2,11
Cd	0,16	0,87	0,06	0,01	0,25	1,73
Mn	2587	7485	1671	2705	3502	12266
Zn	88	191	41	86	135	295
Cr	4,6	7,4	2,4	3,6	6,8	11,2
Co	0,38	0,86	0,21	0,29	0,55	1,44

Возможно, высокие фоновые уровни в условиях Днепра отражают более высокую степень загрязнения тяжелыми металлами экосистемы этой реки (например, Cd). Кроме того, большая часть бассейна р. Десны расположена в пределах зоны смешанных лесов (Новгород-Северское и Черниговское Полесье), в то время как р. Днепр пересекает на территории Украины все три физико-географические зоны (смешанных лесов, лесостепную и степную). Известно, что в пределах каждой зоны в значительной мере отличаются климатические условия, почвенный покров, химический состав поверхностных и грунтовых вод. Все эти факторы могут влиять на доступность тяжелых металлов для гидробионтов, усложняя расчет фоновых уровней для больших территорий.

В качестве модельного района, на примере которого можно проиллюстрировать применение фоновых уровней для определения степени загрязнения экосистемы, был выбран участок устья р. Белоус, расположенный ниже места сброса очистных сооружений ГКП «Черниговводоканал». Как было показано ранее, концентрация тяжелых металлов в тканях моллюсков сни-



3. Пространственная динамика содержания тяжелых металлов в тканях моллюсков *A. anatina* ниже впадения стоков очистных сооружений г. Чернигова (горизонтальные пунктирные линии — предельный фоновый уровень содержания металла для соответствующего водотока).

жается на расстоянии 1—3 км ниже сброса очистных сооружений [9]. Наиболее интенсивно происходит снижение концентрации Fe, Cr, Zn, достигающее минимального уровня на первых сотнях метров ниже места сброса (рис. 3). Содержание Cd, Ni, Cu медленно снижается на участке 0,8—3,0 км. Однако уровни накопления Cu, Co, Mn в моллюсках непосредственно в районе сброса не превышают верхних предельных фоновых уровней, что свидетельствует об отсутствии загрязнения в этом районе. Содержание Cd в моллюсках на расстоянии 100 м ниже сброса в 1,3 раза превышает верхний фоновый предел, рассчитанный для Десны. На нижележащих участках концентрация данного элемента находится в пределах фона. Однако даже в районе сброса содержание Cd не превышает фоновых показателей, характерных для днепровских моллюсков. Подобная картина характерна и для распределения Zn.

Содержание Cr и Ni (а также Fe — на рис. 3 не показано) в тканях моллюсков на расстоянии 100—200 м ниже сброса значительно (в 1,5—3,0 раза) превышает фоновые уровни, характерные как для р. Десны, так и для р. Днепра. В данном случае фоновые уровни могут служить для адекватной количественной оценки степени загрязнения обеих речных систем. В результате, можно утверждать о наличии в этом районе химической аномалии следующего состава: $Fe_{2,9}Cr_{2,8}Ni_{1,5}Cd_{1,3}Zn_{1,3}$.

Таким образом, несмотря на то, что концентрация Cd, Cr и Ni в воде в районе очистных сооружений не превышает критических уровней ПДК_{вр}, содержание этих металлов в моллюсках четко указывает на превышение фоновых уровней, что однозначно свидетельствует о загрязнении экосистемы р. Десны биодоступной фракцией тяжелых металлов.

Заключение

Сравнение концентрации тяжелых металлов в воде с показателями ПДК не может служить достоверным источником информации о загрязнении экосистемы р. Десны.

Содержание Cd и Ni в тканях моллюсков *A. anatina* и *U. tumidus* возрастает по направлению к устью реки. Рассчитанные фоновые уровни тяжелых металлов в тканях моллюсков позволяют выделить участки, загрязненные Mn, Cr, Fe и Co, в пределах среднего течения, а Ni — в нижнем течении.

Поступление недостаточно очищенных сточных вод г. Чернигова в р. Десну приводит к появлению в тканях моллюсков химической аномалии по содержанию Fe, Cr, Ni, Cd и Zn.

**

Досліджено особливості розподілу важких металів (Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Co та Fe) у воді, донних відкладах та м'яких тканинах двостулкових молюсків Anodonta anatina та Unio tumidus в межах української ділянки р. Десни. Розраховано фоновий вміст металів у тканинах молюсків. Показано, що райони перевищення фонових рівнів накопичення Mn, Cr, Fe, Co спостерігаються на ділянці річки у межах кордону Чернігівської та Сумської областей. Вміст Ni перевищує фон в районі гирла Десни. Зазначені райони можна вважати забрудненими цими хімічними елементами.

**

The particularities of heavy metals distribution (Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Co and Fe) were investigated in water bottom deposition and soft tissue of mussel Anodonta anatina and Unio tumidus within Ukrainian area Desna river. The background level of the metal concentration is calculated for mussel tissue. It is shown that regions of the excess background levels of accumulations Mn, Cr, Fe, Co exist within border of Chernigov and Sumy areas. Nickel concentration exceeds background in Desna mouth region. This sites of riverbed may be considered polluted by a these metals.

**

1. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. — Л.: Химия, 1985. — 528 с.
2. Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України. — К.: Вища шк., 1995. — 307 с.
3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Брянской области в 2007 году». — Брянск: Брянск. гос. инж.-технолог. академия, 2008. — 204 с.

4. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. — М.: Форум, 2009. — 192 с.
5. Десна в межах України / За ред. О. В. Топачевського. — К.: Наук. думка, 1964. — 160 с.
6. Лукашев Д.В. Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами экосистемы Днепра в пределах г. Киева с помощью пресноводных моллюсков // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 1. — С. 86—98.
7. Лукашев Д.В. Метод расчета фоновых концентраций тяжелых металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков для оценки загрязнения р. Днепр // Биология внутр. вод. — 2007. — Т. 4 — С. 97—106.
8. Лукашев Д.В. Оценка полиметаллического загрязнения р. Днепр методом расчета фонового содержания тяжелых металлов в моллюсках *Dreissena bugensis* // Гидробиол. журн. — 2007. — Т. 43, № 6. — С. 65—80.
9. Лукашев Д.В. Накопление тяжелых металлов моллюсками *Anodonta anatina* (L.) в условиях поступления коммунально-бытовых сточных вод в речную экосистему // Там же. — 2010. — Т. 46, № 1. — С. 82—90.
10. Лукашев Д.В. Содержание тяжелых металлов в воде и двустворчатых моллюсках на различных участках русла реки Южный Буг // Вод. ресурсы. — 2010. — Т. 37, № 1. — С. 32—37.
11. Мирон І.В. Використання та якість води річки Десни в межах Чернігівської області // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2003. — Т. 251. — С. 150—155.
12. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. — Минск: Выш. шк., 1973. — 320 с.
13. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. — Киев: Генеза, 2004. — 664 с.
14. Саен Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
15. Святанова Е.С. Накопление тяжелых металлов и нормирование их содержания в водных экосистемах // Материалы 3-й Всерос. конф. по вод. токсикологии. — Борок: Ярославский печатный дом, 2008. — Т. 3. — С. 121—123.
16. Усов А.Е., Афанасьев С.А., Гулейкова Л.В. и др. Экологические риски, возникающие вследствие сброса загрязненных вод г. Чернигова в водотоки // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 1. — С. 45—59.
17. Шебаніна О.В., Крамаренко С.С., Ганганов В.М. Методи непараметричної статистики. — Миколаїв: Миколаїв. держ. агр. ун-т, 2008. — 166 с.
18. Conti M.E., Iacobucci M., Cecchetti G. A statistical approach applied to trace metal data from biomonitoring studies // Intern. J. Environment and Pollution. — 2005. — Vol. 23. — P. 29—41.
19. Freshwater bivalve ecotoxicology / Ed. by J. L.Farris, J. H. van Hassel. — Pensacola: SETAC Press, 2006. — 375 p.