

Д. В. Лукашев
ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ Р. ЮЖНЫЙ БУГ
МАРГАНЦЕМ И МЕДЬЮ С ПОМОЩЬЮ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ
***ANODONTA ANATINA* (LINNAEUS, 1758)**

Киевский национальный университет им. Т. Шевченко; 03033, г. Киев, ул. Владимирская, 64
e-mail: dek@biocc.univ.kiev.ua

Лукашев Д. В. Индикация загрязнения экосистемы р. Южный Буг марганцем и медью с помощью двустворчатых моллюсков *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758). – В работе использованы данные химического состава *Anodonta anatina* из 18 условно чистых районов русла р. Южный Буг. Исследованы закономерности накопления марганца и меди в тканях и раковинах моллюсков из различных участков реки. Рассчитаны фоновые уровни содержания данных элементов в моллюсках. На основании превышения фоновых показателей содержания меди были определены участки реки, характеризующиеся хроническим и периодическим загрязнением тяжелыми металлами.

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

Введение

Речная система Южного Буга в последнее время ощущает все возрастающее антропогенное влияние. Непосредственно в акватории данной реки расположены такие крупные промышленные объекты, как Южно-Украинская АЭС, строящаяся Ташлыкская ГАЭС, Ладыжинская ГРЭС, предприятия областных городов (Хмельницкий, Винница, Николаев). Наиболее опасное загрязнение водных экосистем происходит при поступлении сбросов, обогащенных тяжелыми металлами. Для идентификации районов, наиболее подверженных загрязнению, необходимо использовать комплекс мониторинговых мероприятий, заключающийся в регулярном отборе проб абиотических компонентов экосистемы (чаще всего – воды).

Как показано многочисленными исследованиями, для целей биологического мониторинга полиметаллического загрязнения можно с успехом использовать определение химического состава индикаторных видов гидробионтов. Двустворчатые моллюски не способны к эффективной регуляции своего химического состава, и поэтому более чувствительны к изменениям состава среды, чем рыбы или ракообразные [14]. Кроме того, моллюски способны накапливать металлы, как в мягких тканях, так и в своих органо-минеральных скелетах. При этом химический состав мягких тканей в большей степени отражает кратковременные изменения концентрации загрязнителей в среде, тогда как состав раковин, формирующихся в течение всей жизни моллюска, является интегральным показателем состава окружающей среды за длительный период [12]. Поэтому повышенная концентрация тяжелых металлов в раковине может свидетельствовать о наличии хронического загрязнения экосистемы, тогда как повышенная концентрация в мягких тканях говорит о кратковременном или относительно недавнем поступлении загрязнения [5].

Представленная работа посвящена анализу изменений содержания марганца и меди в тканях и раковинах моллюсков *Anodonta anatina* на протяжении всего течения р. Южный Буг – от истока, до устья. Особое внимание уделено районам, относительно удаленным от известных источников загрязнения.

Материал и методы исследования

Для проведения исследования было выбрано 18 точек вдоль русла р. Южный Буг (рис. 1). Отбор проб проводили в районах, расположенных выше по течению от крупных населенных пунктов и не ощущали непосредственного загрязнения сточными водами. Данные участки были приняты в качестве условно фоновых, как это принято в подобных исследованиях [10, 13]. Для уменьшения влияния сезонных колебаний химического состава, отбор моллюсков проводили в сжатые сроки – с 25 по 28 июля 2006 г. В каждой выбранной точке отбирали по 1 л воды в трех повторностях и 12-15 экземпляров моллюсков *A. anatina* (длиной 80-90 мм).

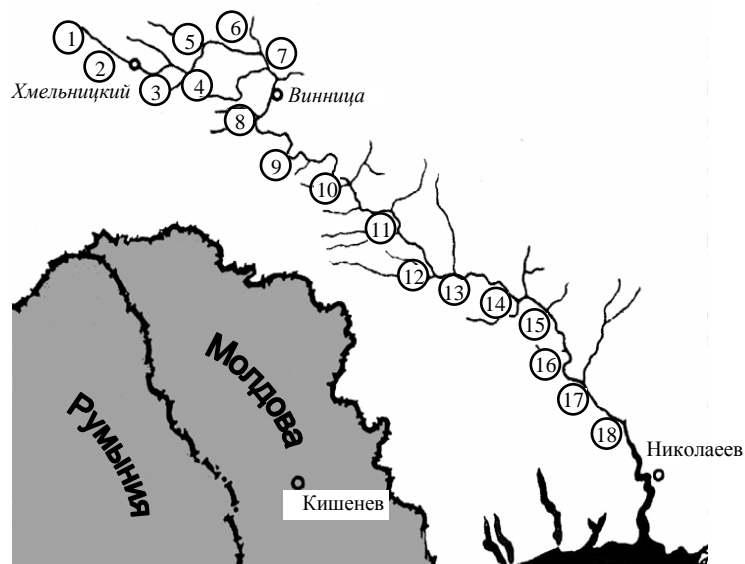


Рис. 1. Расположение районов исследования вдоль русла р. Южный Буг: 1 – с. Купель; 2 – с. Гузевица (выше г. Хмельницкий); 3 – выше г. Меджибож; 4 – выше г. Летичев; 5 – выше пгт. Новоконалин; 6 – с. Лелитка (выше г. Хмельник); 7 – с. Гушинцы (выше г. Винница); 8 – выше г. Тывров; 9 – выше г. Брацлав; 10 – выше г. Ладыжин; 11 – с. Ставки (выше г. Гайворон); 12 – выше пгт. Завалье; 13 – с. Дубиново; 14 – с. Чаусово (выше г. Первомайск); 15 – с. Панкратово (выше г. Южноукраинск); 16 – с. Бугское (выше г. Вознесенск); 17 – выше г. Новая Одесса; 18 – с. Гурьевка (выше г. Николаев)

Концентрацию Mn и Cu в мягких тканях моллюсков и воде определяли с помощью пламенного (ацетилен-воздух) атомно-адсорбционного спектрофотометра С115-М1 с дейтериевым корректором фона и компьютерно-аналитическим комплексом КАС-1. Пробы готовили стандартными методами мокрой минерализации [3]. Концентрацию металлов выражали в мг/кг массы сухой ткани или мг/л воды.

Пробы воды фильтровали на месте через целлюлозно-ацетатный мембранный фильтр (диаметр пор 0,45 мкм), подкисляли 1 мл HNO₃ (хч, перегнанная). В течение двух суток пробы доставляли в лабораторию. Определение содержания тяжелых металлов в воде проводили после предварительного упаривания, согласно стандартным методикам [7].

Нормальность распределения значений концентрации металлов анализировали с помощью теста Шапиро-Уилка, как наиболее чувствительного [11]. Достоверность отличий содержания тяжелых металлов в различных районах русла реки оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, $p < 0,05$) [11]. Для вычисления пределов колебаний фоновых концентраций использовали метод расчета абсолютного отклонения медианы концентрации (MAD) [16]. При статистической обработке данных использовали статистический программный пакет Statistica 5.5, StatSoft Inc. [9].

Результаты и обсуждение

Анализ распределения содержания тяжелых металлов в воде р. Южный Буг показал, что концентрация Cu характеризуется значительными колебаниями (табл. 1). Возрастание концентрации Cu отмечено как в верховьях реки, так и в нижнем ее течении. Подобная ситуация была отмечена для р. Дон [2]. Дисперсионный анализ показал отсутствие достоверного влияния на содержание данного элемента удаленности района от истока ($p < 0,05$). Концентрация Mn достоверно повышалась в районе г. Хмельницкий (№ 2-3), пгт. Завалье (№ 12) и в районе г. Первомайск (№ 14) и г. Южноукраинск (№ 15). Во всех случаях не отмечено превышения законодательно регламентируемых показателей содержания данных элементов в воде.

**Изменение концентрации (мкг/л) растворенных форм металлов в воде по течению
р. Южный Буг**

№ точки	Cu		Mn	
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
1	0,01	0,01	1,7	0,9
2	0,10	0,10	8,0	1,9
3	0,06	0,06	1,4	0,2
4	0,01	0,01	5,0	1,3
5	0,02	0,02	3,6	1,3
6	0,02	0,02	7,0	1,8
7	0,05	0,05	1,5	1,0
8	0,04	0,04	2,7	0,3
9	0,03	0,03	5,5	1,0
10	0,02	0,02	4,9	0,6
11	0,04	0,04	5,2	0,9
12	0,09	0,09	4,3	1,5
13	0,03	0,03	8,8	2,1
14	0,25	0,25	2,8	0,7
15	0,09	0,09	4,1	1,4
16	0,03	0,03	4,0	1,5
17	0,07	0,07	2,3	1,0
18	0,07	0,07	1,5	1,1

Мягкие ткани и раковины моллюсков из различных районов реки достоверно отличались по своему химическому составу (ANOVA, $p < 0,05$). Корреляционный анализ не выявил достоверной связи между содержанием металлов в воде и моллюсках ($p > 0,05$). Высокие показатели накопления Cu в мягких тканях были отмечены в точках № 8, 11, 15, 17 (6,2-12,2 мг/мг) (рис. 2). Повышенным содержанием Cu характеризовались раковины моллюсков из точек № 16, 17 (2,35-5,5 мг/кг). Достоверной зависимости между содержанием Cu в тканях и раковинах моллюсков отмечено не было.

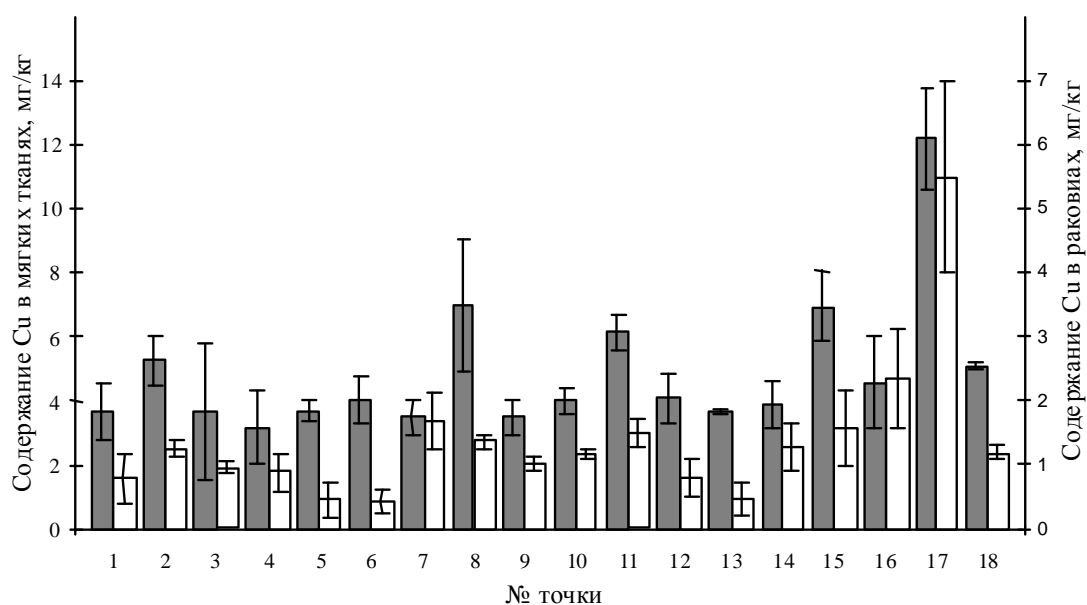


Рис. 2. Динамика содержания Cu в мягких тканях (1) и раковинах (2) *Anodonta anatina* р. Южный Буг

Сравнение полученных данных по содержанию Cu в анодонтах из р. Южный Буг с имеющимися в литературе, показало, что в большинстве районов уровни накопления не превышали характерные для других водоемов. По данным О. А. Бессонова и др. [2], в тканях *A. cygnea* из Нижнего Дона содержание Cu колебалось в пределах 0,8-32,0 мг/кг; в раковинах – 3-15 мг/кг. Значительно более высокие значения были указаны для анодонт из незагрязненных водоемов Европейской части СССР: в мягких тканях 7,5-91,4 мг/кг, в раковинах – 5,3-30,2 мг/кг [8]. Также высокая концентрация меди была характерна для *A. cygnea* из озер Италии, в среднем в тканях составлявшая 34 мг/кг, в раковинах – 11 мг/кг [15]. Следует отметить, что в приведенные диапазоны попадают только максимальные зарегистрированные концентрации Cu в моллюсках Южного Буга.

Концентрация Mn в мягких тканях *A. anatina* р. Южный Буг характеризовалась значительными колебаниями (рис. 3). В верховьях реки содержание Mn было несколько повышенным (3,9-5,2 г/кг), после чего в районе населенных пунктов Меджибож – Летичев – Новоконстантинов происходила стабилизация его концентрации в пределах 2,4-2,8 г/кг. Следующее повышение концентрации металла было отмечено выше г. Хмельник (4,4 г/кг), за которым происходило ее снижение до 2,1-2,8 г/кг. Также повышенным содержанием отличались моллюски, отобранные выше г. Брацлав (5,3 г/кг). Начиная с района пгт. Гайворон и до самого устья Южного Буга ткани моллюсков характеризовались высокой концентрацией Mn (3,8-6,1 г/кг). Особенности динамики накопления Mn в раковинах моллюсков в общих чертах отражали его содержание в тканях. Корреляционный анализ показал достаточно высокий уровень зависимости накопления Mn в раковинах и тканях (коэффициент корреляции Пирсона +0,86; $p < 0,05$). Однако повышенное накопление Mn в раковинах наблюдалось практически на всем протяжении Южного Буга; начиная от Новоконстантинова (точка № 5) и до самого устья его содержание было стабильно повышенным (560-780 мг/кг).

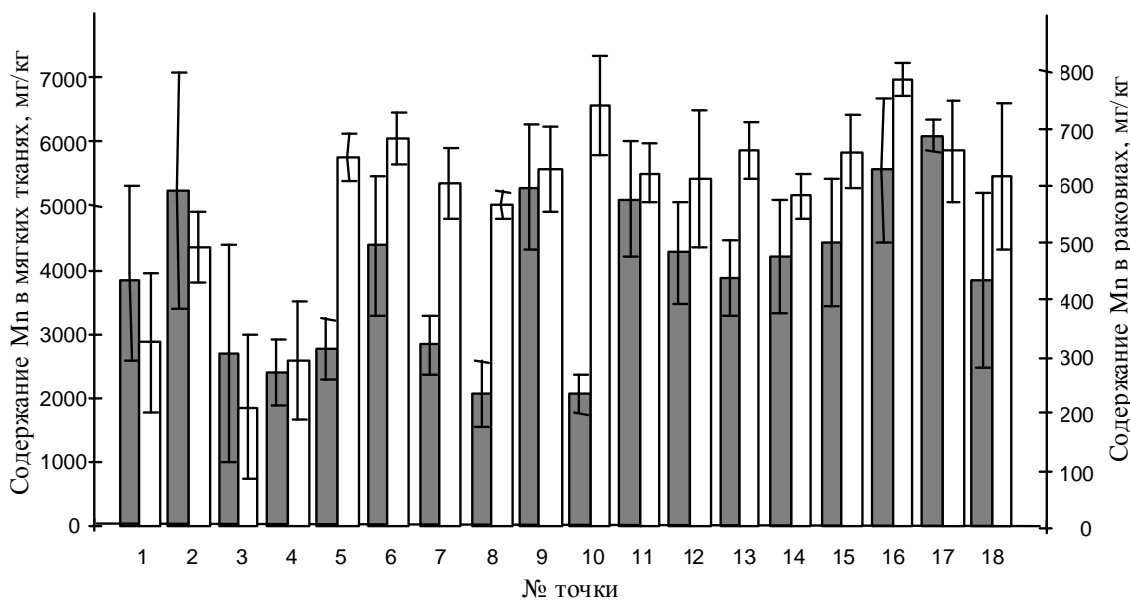


Рис. 3. Динамика содержания Mn в мягких тканях (1) и раковинах (2) *Anodonta anatina* р. Южный Буг

Значительные колебания Mn в моллюсках *A. cygnea* были отмечены также в условиях Нижнего Дона. Колебания этого металла в тканях находились в пределах 32-800 мг/кг, в раковинах – 100-1500 мг/кг [2]. В озерах Италии содержание марганца в среднем составляло в мягких тканях 11250 мг/кг, в раковинах – 289 мг/кг [15].

Отбор моллюсков из условно чистых районов речного русла позволил оценить средние величины концентрации тяжелых металлов, характерные для бугских *A. anatina* (табл. 2). При этом были рассчитаны значения верхнего фонового предела, превышение которого свидетельствует о наличии загрязнения [1, 4].

Таблица 2

Фоновые уровни содержания (мг/кг) меди и марганца в моллюсках *Anodonta anatina* р. Южный Буг

Показатели фоновых значений	Cu		Mn	
	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина
Средняя фоновая концентрация	4,5	1,2	3834	639
Нижний фоновый предел	2,5	0,4	1237	482
Верхний фоновый предел	6,4	2,0	6432	797

Превышение предельного фонового значения (6,4 мг/кг) содержания Cu в мягких тканях в ряде районов дает основание утверждать о наличии загрязнения. Такими районами были точки № 8, 11, 15, 17. В раковинах критическим уровнем фонового содержания Cu являлось 2,0 мг/кг. Превышение было зарегистрировано в точках № 16, 17. Таким образом, достоверное повышение содержания Cu в раковинах моллюсков свидетельствует о постоянном загрязнении р. Южный Буг выше г. Вознесенска и г. Новая Одесса, вероятно, созданном сбросами г. Южноукраинска и г. Вознесенска. Наличие повышенной концентрации Cu в тканях моллюсков и отсутствие такого повышения в их раковинах в точках № 8, 11, 15 можно объяснить неперiodическим кратковременным повышением содержания Cu в экосистеме. Так, загрязнение реки в районе г. Тыврова создается благодаря сбросам вышерасположенного областного центра г. Винница, в районе пгт. Гайворона – благодаря сбросам г. Ладьжин, в районе г. Южноукраинска – благодаря сбросам г. Первомайска.

Несмотря на значительные колебания концентрации Mn в тканях и раковинах анодонты, превышения верхнего фонового уровня на исследованных участках р. Южный Буг зарегистрировано не было. Скорее всего, содержание марганца в экосистеме Южного Буга определяется естественными факторами, и по этой причине отсутствуют резкие изменения его содержания. Ранее нами было показано, что в р. Днепр в летний период повышение концентрации марганца в раковинах моллюсков связано с интенсивным накоплением планктоногенных взвешенных форм марганца в речной воде [6].

Выводы

1. Анализ изменения концентрации Cu и Mn в тканях и раковинах *A. anatina* из р. Южный Буг выявил отсутствие влияния на данные показатели химического состава воды. Особенности накопления Mn в раковинах моллюсков в общих чертах отражали его содержание в тканях.

2. Определены верхние фоновые пределы содержания Cu и Mn в мягких тканях *A. anatina* (соответственно 6,4 и 6432 мг/кг) и раковинах (соответственно 2,0 и 797 мг/кг), характерные для экосистемы Южного Буга.

3. На основании превышения фонового уровня содержания Cu в раковинах из районов городов Вознесенска и Новая Одесса, сделан вывод о хроническом загрязнении данного участка русла реки. Превышение фонового уровня содержания Cu в тканях моллюсков из районов г. Тывров, пгт. Гайворон и г. Южноукраинск свидетельствует о кратковременном загрязнении.

Список литературы

1. Алексеев В. А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. Бессонов О. А., Белова С. Л., Водолазкин Д. И. Биогеохимический цикл тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1991. – 112 с.
3. Ермаченко Л. А., Ермаченко В. М. Атомно-адсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. – М., 1997. – 92 с.
4. Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1984. – 172 с.
5. Лукашев Д. В. Использование раковин *Dreissena bugensis* для мониторинга загрязнения тяжелыми металлами экосистемы реки Днепр в районе Киева // Экологическая химия. – 2006. – Т. 15, № 3. – С. 186-195.
6. Лукашев Д. В. Сезонная динамика накопления марганца в годичных приростах раковин *Unio tumidus* (Bivalvia: Unionidae) // Гидробиологический журн. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 81-88.
7. Микроэлементы в природных водах и атмосфере // Тр. Ин-та экспериментальной метеорологии. – 1974. – Т. 2. – 183 с.
8. Никаноров А. Н., Жулидов А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 291 с.
9. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. – М.: МедиаСфера, 2002. – 312 с.
10. Camusso M., Galassi S., Vignati D. Assessment of river Po sediment quality by micropollutant analysis // Water Res. – 2002. – V. 36. – P. 2491-2504.
11. Conti M. E., Iacobucci M., Cecchetti G. A statistical approach applied to trace metal data from biomonitoring studies // Int. J. Environment and Pollution. – 2005. – V. 23, N 1 – P. 29-41.
12. Foster P. Cravo A. Minor elements and trace metals in the shells of marine gastropods from a shore in tropical East Africa // Water Air and Soil pollution. – 2003. – Vol. 145. – P. 53-65.
13. Kwan M., Chan M., Lafontaine Y. Metal contamination in Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) about the St. Lawrence river // Environment. Monitor. Assessment. – 2003. – V. 88. – P. 193-219.
14. Metcalfe-Smith J. R., Green R. N., Grapentine L. C. Influence of biological factors on concentrations of metal in the tissues of freshwater mussels (*Elliptio complanata* and *Lampsilis radiata*) from the St. Lawrence river // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1996. – Vol. 53. – P. 205-219.
15. Ravera O., Cenci R., Beone G. M. Trace element concentration in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment // J. Limnol. – 2003. – V. 62, N 1. – P. 61-70.
16. Reimann C., Filzmoser P., Garrett R. Background and threshold: critical comparison of methods of determination // Science of the Total Environment. – 2005. – V. 346. – P. 1-16.

Лукашов Д. В. Індикація забруднення екосистеми р. Південний Буг марганцем та міддю за допомогою двостулкових молюсків *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758). – У роботі використано дані щодо хімічного складу *Anodonta anatina* з 18 умовно чистих районів русла р. Південний Буг. Досліджено закономірності нагромадження марганцю та міді у тканинах та черепашках молюсків із різних ділянок річки. Розраховано фонові рівні вмісту даних елементів у молюсках. На підставі перевищення фонових показників вмісту міді було визначено ділянки русла, які характеризувалися хронічним та періодичним забрудненням важкими металами.

Ключові слова: двостулкові молюски, важкі метали, Південний Буг, фонові концентрації.

Lukashov D. V. Indication of pollution of South Bukh river ecosystems by manganese and copper with the help of mussel *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758). – The chemical content data of *Anodonta anatina* from 18 relative clean sites of South Bukh river were used. Features of manganese and copper uptake by soft tissues and mussel's shells from different areas of riverbed were investigated. The background concentration of these metals in mollusks was estimated. On the basis of copper concentration exceeding of background level in mussels was determined areas that characterized by continuous and periodical metal contamination.

Key word: bivalve mollusk, trace metal, South Bukh, background concentration.