

УДК 574.587(262.81):576.3/7  
ББК 28.081.8:28.082.13(2Рос-4Аст,2)

*Э. И. Мелякина, М. А. Мусаев, Г. Х. Ильясова*

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*E. I. Melyakina, M. A. Musaev, G. Kh. Ilyasova*

## REGULARITIES OF DISTRIBUTION OF SOME METALS IN THE AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE ASTRAKHAN REGION

Описаны особенности распределения Cu, Zn и Mn в водных экосистемах Астраханской области на примере биогеоценоза р. Бузан. Особое внимание уделено изучению механизма и характера их накопления в грунтах и бентосных организмах рек и прибрежных пойменных территорий, в том числе биогеохимических циклов миграции химических элементов в системе «грунт – бентос». Установлено, что в прибрежных зонах элементный состав грунтов в большей степени определяется растениями, круглогодично произрастающими на них и аккумулирующими исследуемые металлы, а в грунтах донных отложений – течением, которое производит значительную эрозионную, переносную и аккумулятивную деятельность. Описанная динамика содержания микроэлементов в составе органов и тканей речного рака может быть следствием того, что валовое содержание элементов зависит от химического состава воды и грунтов и что вариабельность содержания отдельных элементов отражает физиологические изменения в организме (рост, размножение, изменение спектра питания, линька).

**Ключевые слова:** аллювий, грунт, фация, бентос, медь, цинк, марганец.

The features of Cu, Zn and Mn distribution in aquatic ecosystems of the Astrakhan Region by the example of Buzan River's biogeocenosis are described. A special attention is paid to the study of the mechanism and the nature of their accumulation in soils and benthic organisms of rivers and coastal floodplains, including biogeochemical cycles of chemical elements migration in the system "soil-benthos." It is stated that the elemental composition of soils at coastal areas is largely determined by the plants growing on and accumulating these metals for year-round, but soil sediments is determined by current, which produces a significant erosion, portable and accumulative activity. This evolution of the content of trace elements in the composition of organs and tissues of the crayfish may be due to the fact that the total content of the elements depends on the chemical composition of water and soil and the variability of the content of individual elements reflects physiological changes in the body (growth, reproduction, modification of the food spectrum, molting).

**Key words:** alluvium, soil, facies, benthos, copper, zinc, manganese.

В результате геологических и геохимических процессов (включая огромную деятельность живых организмов), различно протекавших и протекающих в отдельных зонах Земли, химический состав элементов биосферы – почв, природных вод, организмов – обнаруживает географическую неоднородность, носит мозаичный характер. Так как микроэлементы входят в состав многих биологически активных соединений (ферменты, гормоны, витамины, пигменты и др.) или участвуют в их синтезе, то естественной является большая зависимость процессов обмена веществ и, следовательно, всех проявлений жизни, от концентрации и соотношения химических элементов в окружающей среде [1].

В различных геохимических условиях среды биогеохимическая пищевая цепь, благодаря количественным и качественным изменениям, может быть использована для характеристики субрегионов биосферы. Изменчивость биогеохимической цепи может достигать значительных величин, но она должна быть в определенной степени лимитирована содержанием химических элементов в компонентах экосистемы.

Водные экосистемы характеризуются значительным разнообразием распределения и миграции элементов. Нами проанализировано биогеохимическое состояние экосистемы р. Бузан. Выявленные закономерности изменения содержания цинка, меди и марганца позволяют охарактеризовать пространственную структуру распределения этих элементов и установить способы их накопления в грунтах и бентосных организмах (на примере речного рака) рек и прибрежных пойменных территорий.

Цель исследования – изучение распределения химических элементов (Cu, Zn, Mn) в грунтах, воде и организме речного рака *Astacus leptodactylus* экосистемы р. Бузан (Астраханская обл.).

### Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись пробы речной воды, аллювиального грунта, различающегося по фациям, органов и тканей речного рака. Под фацией понимается горная порода (или осадок) определенного состава, отражающего условия ее накопления [2]. В аллювиальных отложениях пойм равнинных рек четко выделяются три фации: русловая, пойменная и старичная (рис.). *Русловая* фация формируется в процессе нарастания и расширения прирусловых отмелей при миграции русла в сторону подмываемого берега и представлена песками различного гранулометрического состава, в основании песками с гравием и галькой. *Пойменная* фация формируется в периоды половодий, когда на поверхность поймы выпадает преимущественно взвешенный тонкий материал, поэтому пойменный аллювий представлен преимущественно супесчано-суглинистым материалом. Нами исследовался именно этот тип грунта. *Старичный* аллювий образуется в отшнурованных излучинах, превращенных в озера, где накапливаются супеси, суглинки, местами глины, богатые органическим веществом, а при заболачивании – болотные отложения. Старичные отложения могут в последующем перекрываться пойменными [2].

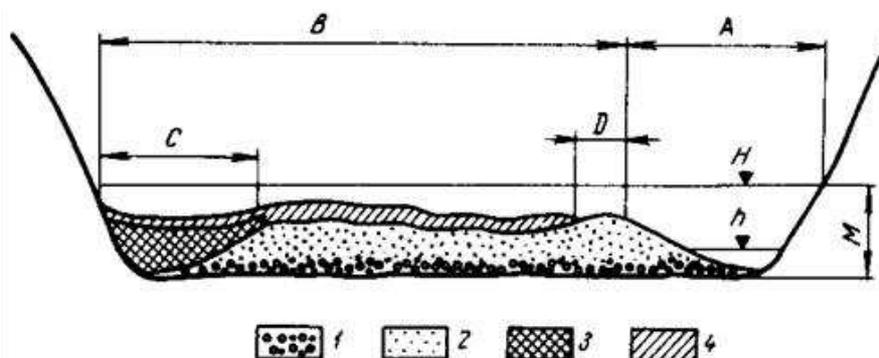


Схема строения поймы (по Е. В. Шанцеру):

A – русло; B – пойма; C – старица; D – прирусловый вал; H – уровень полых вод;  
h – уровень межени; M – нормальная мощность аллювия. Русловый аллювий:  
1 – разнозернистые пески, гравий, галька; 2 – мелко- и тонкозернистые пески;  
3 – старичный аллювий; 4 – пойменный аллювий

В исследовании применялись методы отбора и подготовки проб, спектрофотометрии, а также статистические методы обработки полученных данных. В ходе исследований было необходимо:

- 1) изучить закономерности распределения некоторых элементов в грунтах и в воде экосистемы р. Бузан в зависимости от способа их миграции и аккумуляции;
- 2) определить зависимости в распределении изученных элементов между субстратными организмами (речным раком) и их средой обитания (грунт, вода).

### Результаты исследований и их обсуждение

При анализе микроэлементного состава грунтов р. Бузан и его сравнении с содержанием микроэлементов в пойменном аллювии прибрежной зоны были выявлены следующие особенности.

**Цинк.** Среднее содержание цинка в донных грунтах р. Бузан характеризуется величиной 27,4 мг/кг. В прилегающей к водоему пойме концентрация цинка в два раза выше и варьирует в пределах от 48 до 53 мг/кг сухого вещества. Столь большая разница между концентрацией цинка в донных грунтах и содержанием этого элемента в аллювиальной почве объясняется как биотическими факторами (прибрежная зона р. Бузан густо заселена различными видами растений и животных, что благоприятствует отложению ископаемых остатков), так и факторами абиотического характера (гидрологические свойства водоема и др.). Отметим, что при другом гидрологическом режиме, характерном для рыбоводных непроточных прудов, донные грунты могут аккумулировать элементы в больших количествах, чем почвы прибрежной полосы [3].

**Медь.** Содержание меди в грунте р. Бузан в среднем составляет 3,1 мг/кг, что гораздо ниже данного показателя прибрежных почв (7,3–14,0 мг/кг сухого вещества). Как и в случае с цинком, разница в содержании меди между сравниваемыми грунтами очевидна и, предположительно, по тем же причинам. Кроме того, столь низкие значения меди в грунтах отражают общую биогеохимическую особенность почв Астраханской области, которая выражается в дефиците меди [4].

**Марганец.** Среднее содержание марганца в грунтах реки составляет 22,7 мг/кг. В прибрежных почвах концентрация этого элемента составляет от 113 до 179 мг/кг сухого вещества.

Таким образом, грунты изученного водоема отличаются от почв прибрежной зоны пониженным содержанием цинка, меди и марганца.

Особенности миграции химических элементов в грунтах изучаемых комплексов в масштабе биогеоценоза отражает коэффициент концентрации ( $K_k$ ), представляющий собой отношение среднего содержания химического элемента в грунте к его содержанию в литосфере (кларк). Элементы с высоким  $K_k$  являются типоморфными и определяют геохимическую обстановку [5].

Установлено, что средние концентрации всех изученных нами химических элементов значительно ниже их кларков в земной коре (табл. 1)

Особенно выделяются низкие кларки концентраций, что указывает на низкую биофильность по марганцу и меди. Концентрация этих элементов значительно ниже, чем в литосфере [5].

По величине  $K_k$  изученные микроэлементы донных грунтов образуют следующий ряд:  $Zn > Cu > Mn$ , т. е. аналогично микроэлементам прилегающей почвы.

Так как  $K_k$  меньше единицы для изученных микроэлементов, то для получения большей контрастности были рассчитаны обратные величины – коэффициенты рассеивания ( $K_p$ ), представляющие собой отношение кларка элемента в литосфере к его содержанию в почвах Астраханской области. Полученные результаты (табл. 1) указывают на то, что изученные микроэлементы не обнаруживают тенденции к накоплению, обладают пониженной относительной концентрацией. Значения  $K_p$  химических элементов в грунтах колеблются от 1,7 (цинк) до 6,6 (марганец).

Таблица 1

Коэффициенты концентрации и рассеивания в грунтах р. Бузан

Элемент	Кларк (по [5])	$K_k$	$K_p$
Cu	47	0,09	4,7
Zn	83	0,32	1,7
Mn	1 000	0,022	6,6

Вода изучаемого водоема характеризовалась следующими значениями содержания изученных микроэлементов: цинк – 10,5; марганец – 3,9; медь – 5,8 мкг/л.

Все изученные микроэлементы находятся в воде р. Бузан в концентрациях не превышающих ПДК.

Концентрация микроэлементов в организме речных раков исследовалась в летний период одновременно с микроэлементным составом воды и грунтов изученного водоема. Известно, что летом речные раки меняют спектр питания и от преимущественно животной пищи переходят к растительной. Естественно, это отражается и на химическом составе органов и тканей данного гидробионта (табл. 2).

Таблица 2

Концентрации металлов в летний период в организме речного рака дельты р. Волги, мг/кг сухого вещества

Элемент \ Орган	Мышцы клешни	Мышцы брюшка	Жабры	Панцирь	Печень
Цинк	312,3 ± 5,7	170,9 ± 13,3	108,5 ± 8,8	34,8 ± 1,8	96,2 ± 4,6
Медь	59,5 ± 2,0	39,6 ± 0,3	273,8 ± 9,5	22,0 ± 1,4	101,2 ± 5,6
Марганец	7,5 ± 0,4	5,5 ± 0,5	115,3 ± 11,0	9,7 ± 0,6	31,5 ± 1,5

Из анализа табл. 2 очевидно, что цинк в большей степени утилизируется мышечными органами – мышцами клешни и мышцами брюшка, а в минимальных концентрациях этот элемент накапливается в панцире – 34,8 мг/кг. Соотношение цинка в ряду жабры – мышцы – печень – панцирь составляет 7 – 5 – 3 – 1.

По способности концентрировать медь отличаются жабры (274 мг/кг), за счет дыхательного медьсодержащего пигмента гемоцианина, затем следует печень. Соотношение меди в ряду жабры – мышцы – печень – панцирь составляет 12 – 2 – 4 – 1.

Марганец, аналогично меди, концентрируется в значительной степени жабрами речного рака, а затем печенью.

По степени убывания микроэлементов изученные органы можно расположить в следующем порядке:

- по цинку: мышцы клешни > мышцы брюшка > жабры > печень > панцирь;
- по меди: жабры > печень > мышцы клешни > мышцы брюшка > панцирь;
- по марганцу: жабры > печень > панцирь > мышцы клешни > мышцы брюшка;

Из табл. 3 следует, что средний коэффициент биологического поглощения (КБП) цинка в организме речных раков в летний период колебался от 1,1 до 5,5, т. е. цинк является элементом среднего накопления.

Таблица 3

**Коэффициент биологического поглощения микроэлементов  
в летний период развития речного рака дельты р. Волги**

Элемент \ Орган	Мышцы брюшка	Жабры	Панцирь	Печень
Цинк	5,5	3,5	1,1	3,1
Медь	10	68,5	5,5	25,2
Марганец	0,45	10,4	0,9	2,8

Средний КБП по меди отличается особенно высокими значениями от 5,5 в панцире до 68,5 в жабрах, т. е. жабры являются органом, особенно сильно накапливающим этот элемент. Кроме цинка и меди, КБП больше единицы характерен также и для марганца в печени и, особенно, в жабрах (10,4).

### Заключение

Проведенные нами ландшафтно-геохимические исследования выявили основные закономерности дифференциации цинка, меди и марганца. Исследование кларков имеет большое научное и прикладное значение, т. к. сведения о региональных кларках необходимы как отправная точка при исследовании процессов миграции элементов. Знание кларков микроэлементов позволяет более успешно решать гидрогеохимические проблемы рассеяния, концентрирования, миграции элементов в почвах, породах различного вещественного состава.

В прибрежных зонах элементный состав грунтов определяется в большей степени растениями, которые круглогодично произрастают на них, аккумулируя данные металлы. После гибели эти растения формируют почвенный слой прибрежных зон, перемешиваясь с илом во время половодья. Так как отбор проб проводился поздним летом, илистые отложения уже успели перемешаться с почвой, образуя цельный слой грунта аллювиального типа, который был использован в данном исследовании. Следует отметить, что важным фактором, влияющим на количественный состав элементов в донных отложениях, является течение. Водные потоки рек, расчленяющие огромные пространства суши, производят значительную эрозионную, переносную и аккумулятивную деятельность. Равнинная р. Бузан, рассматриваемая в нашем исследовании, при скорости течения 5–7 км/ч является переносчиком и накопителем многих веществ, которые движутся вниз по течению вместе с речным стоком. На расстоянии до 10–15 м от берега густая растительность задерживает сток воды, создавая благоприятные условия для аккумуляции органических веществ.

Динамика содержания микроэлементов в органах и тканях речного рака может быть следствием нескольких причин. Во-первых, валовое содержание элементов зависит от химического состава воды и грунтов. Во-вторых, вариабельность содержания отдельных элементов отражает физиологические изменения в организме речного рака (рост, размножение, изменение спектра питания, линька). Мы не смогли найти достоверную зависимость между содержанием металлов в тканях и органах *Astacus leptodactylus* и химическим составом воды и грунтов. Объясняется это тем, что гидробионты способны поглощать из воды организмы бентоса и из грунтов – только биологически доступную часть общего количества элемента в воде и грунте [6].

Полученные данные могут быть использованы для изучения сезонной сукцессии в содержании этих металлов, динамики их миграционной способности с течением времени, показателей токсичности вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии / В. В. Ковальский. М.: Изд-во РАН СХ, 2009. 356 с.
2. Сукачѳв В. Н. Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический ландшафт» и «фация» // Основы лесной биогеоценологии; под ред. В. Н. Сукачѳва, Н. В. Дылиса. М.: Наука, 1964. С. 5–49.
3. Шабоянц Н. Г. Биогеохимические особенности миграции металлов в пресноводных и морских экосистемах Волго-Каспийского бассейна / Н. Г. Шабоянц; автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2009. 24 с.
4. Гундарева А. Н. Селективные особенности накопления микроэлементов дикорастущими растениями аридной зоны / А. Н. Гундарева, Э. И. Мелякина, М. А. Мусаев // Материалы IX Междунар. конф. «Биологическое разнообразие Кавказа». Махачкала: ИПЭРД, 2007. 322 с.
5. Виноградов А. П. Микроэлементы и задачи науки / А. П. Виноградов. М.: Агрохимия, 1965. № 8. С. 20–31.
6. Ravera O. Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state / O. Ravera, G. M. Beone, P. R. Trincerini, N. Riccardi // J. Limnol. 2007. Vol. 66. P. 28–39.

REFERENCES

1. Koval'skii V. V. *Problemy biogeokhimmii mikroelementov i geokhimmicheskoi ekologii* [Problems of biogeochemistry of microelements and geochemical ecology]. Moscow, Izd-vo RAN SKh, 2009. 356 p.
2. Sukachev V. N. *Biogeotsenoz kak vyrazhenie vzaimodeistviia zhivoi i nezhivoi prirody na poverkhnosti Zemli: sootnoshenie poniatii «biogeotsenoz», «ekosistema», «geograficheskii landshafi» i «fatsiia»* [Biogeocenosis as an expression of interaction of living and nonliving nature on the Earth: correlation of the definitions "biogeocenosis", "ecosystem", "geographical landscape" and "facies"]. *Osnovy lesnoi biogeotsenologii*. Pod redaktsiei V. N. Sukacheva, N. V. Dylisa. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 5–49.
3. Shaboians N. G. *Biogeokhimmicheskie osobennosti migratsii metallov v presnovodnykh i morskikh ekosistemakh Volgo-Kaspiiskogo basseina*. Avtoreferat dis. kand. biol. nauk [Biogeochemical parameters of migration of metals in freshwater and sea ecosystems in the Volga-Caspian basin]. Astrakhan, Izd-vo AGTU, 2009. 24 p.
4. Gundareva A. N., Meliakina E. I., Musaev M. A. *Selektivnye osobennosti nakopleniia mikroelementov dikorastushchimi rasteniiami aridnoi zony* [Selective parameters of accumulation of microelements of wild growing plants of the Arid zone]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi konferentsii «Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza»*. Makhachkala, IPERD, 2007. 322 p.
5. Vinogradov A. P. *Mikroelementy i zadachi nauki* [Microelements and scientific tasks]. Moscow, *Agrokhimiia*, 1965, no. 8, pp. 20–31.
6. 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, pp. 28–39.

Статья поступила в редакцию 12.02.2014

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Мелякина Эльвира Ивановна** – Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук; доцент кафедры «Гидробиология и общая экология»; melyakina\_el@mail.ru.

**Melyakina Elvira Ivanovna** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; melyakina\_el@mail.ru.

**Мусаев Манас Алимбетович** – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Гидробиология и общая экология»; Manas\_musaev@mail.ru.

**Musayev Manas Alimbetovich** – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; Manas\_musaev@mail.ru.

**Ильсова Гульнара Хазисовна** – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Гидробиология и общая экология»; Manas\_musaev@mail.ru.

**Ilyasova Gulnara Khazisovna** – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; Manas\_musaev@mail.ru.