

УДК 574.43:550.424(478.9)

DOI: 10.18384/2310-7189-2016-4-67-77

## ОСОБЕННОСТИ БИОАККУМУЛЯЦИИ СЕЛЕНА В КОНТРАСТНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Шешницан С.С.<sup>1</sup>, Капитальчук М.В.<sup>1</sup>, Голубкина Н.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко  
3300, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128, Республика Молдова, Приднестровье

<sup>2</sup> Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур  
143080, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИИССОК,  
ул. Селекционная, д.14, Российская Федерация

**Аннотация.** Впервые представлены данные по распределению и особенностям миграции селена в биогеохимической пищевой цепи «почва – растение – насекомые» в контрастных по ландшафтно-геохимическим условиям экосистемах долины Днестра. Установлено, что различий в содержании валовых форм селена в почвах разных типов экосистем не наблюдается, при этом в пойменных экосистемах растения накапливают более чем в 2,5 раза больше селена, чем растения, произрастающие в экосистемах на террасах и склонах. Дифференциация экосистем по содержанию селена на первом трофическом уровне существенно сказывается на содержании элемента в последующих звеньях биогеохимической пищевой цепи. Результаты нашего исследования указывают, что в пищевых цепях пойменных экосистем наблюдается явление биомагнификации селена. В экосистемах на террасах закономерное увеличение концентрации элемента прослеживается только при переходе от растений к фитофагам, а от них – к миксофагам (или зоофагам).

**Ключевые слова:** селен, биоаккумуляция, экосистема, геохимическая экология, пищевая цепь.

## PECULIARITIES OF SELENIUM BIOACCUMULATION UNDER CONTRASTING LANDSCAPE AND GEOCHEMICAL CONDITIONS

**S. Sheshnitsan<sup>1</sup>, M. Kapitalchuk<sup>1</sup>, N. Golubkina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Taras Shevchenko Transnistria State University  
3300-MD, Tiraspol, 128 October 25 Str., Transnistria, Moldova Republic

<sup>2</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Breeding and Vegetable Seed Culture  
Seleksionnaya ul. 14, 143080 VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow region,  
Russia

**Abstract.** Data on selenium distribution and migration in a biogeochemical 'soil – plant – insects' food chain are presented for the first time under contrasting landscape and geochemical conditions of the Dniester valley ecosystems. The total soil selenium content is found to be the same in various ecosystem types, while in the floodplain ecosystems, plants accumulate 2.5 times more selenium than those growing in ecosystems on terraces and slopes. The ecosystem differentiation with respect to the selenium content in the first trophic level significantly affects

the selenium content in the following links of the biogeochemical food chain. The results of the study show that the phenomenon of selenium biomagnification is observed in the floodplain food chain. An increase in the selenium concentration in terrace ecosystems is observed in passing from plants to phytophages and from them to myxophaga (or zoophages).

**Key words:** selenium, bioaccumulation, ecosystem, biogeochemical food chain.

Одним из направлений общей системной экологии, где связь между организмами и внешней средой рассматривается с точки зрения миграции химических элементов по биогеохимическим пищевым цепям, является геохимическая экология. Её основной целью является изучение возникших в результате миграции закономерностей концентрации и рассеяния химических элементов различными трофическими уровнями и связанные с этим биологические реакции организмов [2, с. 49].

Важным фактором, влияющим на обеспеченность микроэлементами пищевой цепи, являются ландшафтные особенности их миграции. Территория, занятая каким-либо отдельным ландшафтом – это своего рода геохимическая зона с особым типом биологического круговорота и своеобразными условиями миграции микроэлементов. Их подвижность и биологическая доступность в ландшафте оказывает влияние на биоаккумуляцию растениями и животными [10, с. 19; 7, с. 270]. Следствием геохимической неоднородности среды является химическая изменчивость биогеохимической пищевой цепи и отдельных её компонентов [2, с. 46].

Изучение миграции селена по пищевой цепи представляет особый интерес, поскольку, с одной стороны, он является условно необходимым элементом питания для растений и, в принципе, может слабо поглощаться ими. С другой стороны, этот микро-

элемент жизненно необходим для человека и животных, для которых его вовлечение в пищевую цепь растениями чрезвычайно важно. В последние годы проведены системные исследования по изучению селена в долине Днестра. В частности, установлено его высокое содержание в поверхностных и грунтовых водах, в среднем оптимальное валовое содержание в почвах, в основном умеренное содержание в растениях, высокое содержание в ряде продуктов питания и высокий селеновый статус жителей этого региона. Выявлено также, что геохимические условия миграции и накопления селена в компонентах экосистем неодинаковы в разных типах ландшафтов [1; 4; 5].

В настоящей работе представлен не исследовавшийся ранее аспект селеновой проблематики днестровской долины – особенности миграции селена в биогеохимической пищевой цепи «почва – растение – насекомые» в контрастных по ландшафтно-геохимическим условиям экосистемах. Следует отметить, что роль насекомых в миграции селена недостаточно изучена как в России, так и за рубежом [15].

### Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования послужили пробы почв, растений и насекомых, собранных в мае-августе 2013 г. в период полевых экспедиционных выездов на ключевые участки аграрных и степных экосистем [12]. Отбор проб и их дальнейшая под-

готовка к лабораторным анализам проводилась в соответствии с общепринятыми методиками [6; 11]. Образцы почвы состояли из объединённых 7–10 единичных почвенных проб, взятых в пределах участка на глубину 40 см. В местах отбора проб почв отбирались образцы надземной части растений (пшеница, кукуруза, подсолнечник, пырей). Насекомых-фитофагов собирали методом кошения энтомологическим сачком, а также методом стряхивания; на почвенных, активно передвигающихся насекомых – методом бесприманочных почвенных ловушек. Все образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, тщательно измельчали и упаковывали в полиэтиленовые пакеты.

Определение содержания селена в образце проводили флуориметрическим методом [14] с использованием референс-стандартов. Количество проанализированных на содержание селена образцов составило: почвы – 20, растения – 21, насекомые – 37.

Первичную обработку данных методами вариационной статистики проводили с использованием табличного процессора Excel, входящего в состав стандартного пакета MS Office 2007. Дополнительные расчёты проводили с помощью программного пакета для статистического анализа STATISTICA 10 (StatSoft Inc., 2011). В связи с малыми объёмами выборок для статистических расчётов использовали методы непараметрической статистики: сравнение выборочных эмпирических данных проводили с помощью *U*-критерия Манна – Уитни, а изучение зависимости – путём расчёта коэффициента ранговой корреляции Спирмена (*R*). Для всех расчётов принят уровень значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты и их обсуждение

Данные по содержанию селена в основных звеньях биогеохимических пищевых цепей в экосистемах, различных по ландшафтно-геохимическим условиям, обобщены и представлены (табл. 1) как средние значения и среднеквадратические отклонения содержания селена в почве, растениях, насекомых, а также коэффициента биологического накопления ( $K_b$ ) растениями по отношению к почве, фитофагами – по отношению к растениям.

Исходя из этих данных, рассмотрим особенности распределения микроэлемента в почвах, растениях и животных. Валовое содержание селена в почвенных образцах варьировало в пределах от 164 до 622 мкг/кг, что хорошо согласуется с полученными ранее данными для этого региона [5, с. 36]. Наибольшее количество селена в среднем содержится в аллювиальных луговых почвах пойм ( $368 \pm 62$  мкг/кг). Его среднее содержание в черноземных почвах на склонах и террасах несколько меньше –  $339 \pm 29$  мкг/кг, причём наблюдаются различия средних значений селена в степных экосистемах и агроэкосистемах. Отметим также, что для чернозёмов карбонатных и чернозёмов обыкновенных, доминирующих на склонах и террасах, концентрации селена достаточно близки и составляют в среднем  $337 \pm 37$  и  $342 \pm 16$  мкг/кг соответственно. Хотя различия в содержании валовых форм селена в почвах разных экосистем оказались статистически незначимыми ( $p > 0,05$ ), полученные нами результаты подтверждают выявленную ранее тенденцию к повышению содержания селена в пойменных

почвах, что объясняется денудационным и эрозионным сносом микроэлемента со склонов в понижения рельефа [1, с. 100].

Таблица 1

**Содержание селена (мкг/кг) и его соотношение в компонентах пищевых цепей геохимически контрастных экосистем**

Компоненты биогеохимической пищевой цепи	Пойменные экосистемы		Экосистемы террас и склонов	
	Агроэкосистема	Степная экосистема	Агроэкосистема	
Почва	368±62 <i>n</i> = 6	286±175 <i>n</i> = 6	339±29 <i>n</i> = 8	
Растения	367±118** <i>n</i> = 7	106±30 <i>n</i> = 6	145±52 <i>n</i> = 8	
Фитофаги	995±670* <i>n</i> = 12	630±201 <i>n</i> = 8	467±160 <i>n</i> = 7	
Миксофаги	1800±685* <i>n</i> = 4	-	699±352 <i>n</i> = 5	
Зоофаги	-	1366 <i>n</i> = 1	-	
$K_6$ растение/почва	0,849±0,438** <i>n</i> = 7	0,456±0,250 <i>n</i> = 6	0,438±0,074 <i>n</i> = 8	
$K_6$ фитофаг/растение	2,695±1,376 <i>n</i> = 7	5,689±1,798 <i>n</i> = 3	2,955±1,282 <i>n</i> = 5	

Примечание: данные указаны как  $\bar{X} \pm SD$ ; \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

Для растений, как второго звена в биогеохимической пищевой цепи, основным источником селена служат биодоступные подвижные формы микроэлемента в почвенном растворе. Кроме того, этот элемент является условно необходимым для растений [13, с. 43]. Поэтому значимая корреляция между селеном в растениях и его валовым содержанием в почве обычно не наблюдается [3, с. 140]. Проведенный нами непараметрический корреляционный подтвердил отсутствие значимой корреляционной связи валовых форм селена с его содержанием в растениях ( $R = +0,243$ ,  $p > 0,05$ ). Совсем иначе дело обстоит при рассмотрении зависимости коэффициента биологического поглощения ( $K_6$ ) от валового

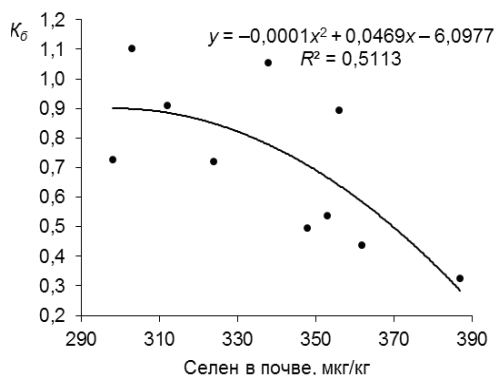


Рис. 1. Взаимосвязь коэффициента биологического поглощения селена растениями с его валовым содержанием в почве.

содержания селена в почве (рис. 1) – в этом случае прослеживается статистически значимая отрицательная корреляционная связь ( $R = -0,697$ ;  $p < 0,05$ ),

что соответствует выявленной ранее закономерности увеличения интенсивности накопления селена подсолнечником по мере уменьшения его содержания в почве [3, с. 140].

В среднем растения в пойме накапливают более чем в 2,5 раза больше селена, чем растения, произрастающие на террасах и склонах в степных и агроэкосистемах, причем эти различия являются достоверными ( $p < 0,01$ ). Эту же закономерность подтверждает сравнение коэффициента биологического поглощения в системе «почва – растение» в разных типах экосистем: гипотеза о неравенстве эмпирических данных может быть принята на достаточно высоком уровне значимости  $p < 0,01$ . Хотя средние значения  $K_6 < 1$  во всех трех типах экосистем, в отдельных случаях наблюдалось выраженная биоаккумуляция селена ( $K_6 > 1$ ) растениями подсолнечника ( $K_6 = 1,102-1,428$ ) и пшеницы ( $K_6 = 1,053$ ). Все эти растения произрастали в условиях пойменных агроэкосистем. Повышенное содержание селена в растениях, произрастающих в пойме, видимо, обусловлено аккумуляцией в понижениях рельефа значительного количества биодоступных форм этого элемента за счет сноса сюда мелкозема и водного стока, содержащего водорастворимые формы.

Дифференциация экосистем по содержанию селена в первом звене трофической цепи существенно сказывается на содержании элемента в последующих звеньях – консументах: фитофагах и зоофагах. Концентрация элемента в животных мало зависит от его валового содержания в почве, а зависит от его концентрации в пище. Животные поглощают только под-

вижные формы элементов и поэтому отражают не потенциальную обеспеченность пищевой цепи элементом, а фактическую [9, с. 143]. Ключевую роль в функционировании экосистем играют насекомые. Среди них известны растительноядные виды, хищники, паразиты, кроме того, они сами являются пищей для животных высших трофических уровней, в связи с чем они могут изменять направление потоков энергии и вещества в экосистемах [17, с. 150].

Среди собранных в исследованных типах экосистемы насекомых были идентифицированы 22 вида, относящихся к 5 отрядам: *Mantoptera*, *Orthoptera*, *Heteroptera*, *Coleoptera*, *Lepidoptera*. Все виды были разделены на три трофические группы: фитофаги (*Oecanthus pellucens* Scop., *Calliptamus italicus* L., *Chorthippus brunneus* Thunb., *Decticus verrucivorus* L., *Graphosoma italicum* L., *Dolicoris baccarum* L., *Eurydema ornata* L., *Aelia acuminata* L., *Piezodorus lituratus* F., *Codophila varia* F., *Alydus calcaratus* L., *Eurygaster integriceps* Puton, *Zabrus tenebrioides* Gz., *Anisoplia austriaca* Hbst., *Helicoverpa armigera* Hübner), миксофаги (*Modicogryllus burdigalensis* Latr., *Melanogryllus desertus* Pall., *Pyrhocoris apterus* L., *Harpalus rufipes* Deg., *Dolichus halensis* Schall., *Poecilus sericeus* F.-W.) и зоофаги (*Ameles decolor* Charp.).

Анализ средних значений содержания селена в фитофагах (табл. 1) указывает на снижение концентрации элемента в популяциях насекомых в следующей последовательности: насекомые пойменных агроэкосистем (995 мкг/кг) > насекомые степных экосистем (630 мкг/кг) > насекомые агроэкосистем на террасах и склонах (467

мкг/кг). Однако сравнение данных концентраций элемента с помощью  $U$ -критерия показало наличие статистически значимых различий только для фитофагов пойменных экосистем по отношению к фитофагам, обитающих в двух других типах экосистем.

В популяциях фитофагов независимо от места обитания отдельные особи могут аккумулировать значительно больше селена, чем его содержится в пище:  $K_0$  в системе «фитофаг–растение» всегда больше 1 и может составлять от 1,081 до 6,735. Причинами этого явления могут быть как видовые особенности накопления и безбарьерность аккумуляции микроэлемента, так и содержание селена в потребляемой растительной пище [10, с. 22]. Хотя достоверных различий в интенсивности накопления селена фитофагами нами не обнаружено, стоит отметить высокое значение  $K_0 = 5,689$ , рассчитанное для фитофагов степной экосистемы. В отличие от агроэкосистем, где поддерживается монокультура, степные участки характеризуются высоким флористическим разнообразием. Поэтому популяции фитофагов в степи в качестве источника пищи ис-

пользуют разные виды растений, которые могут значительно отличаться по содержанию селена.

Насекомые со смешанным питанием (миксофаги) и облигатные зоофаги во всех трех типах изученных экосистем накапливают больше селена, чем содержится в их потенциальной пище. При этом особи из популяций миксофагов пойменных агроэкосистем достоверно отличаются большей концентрацией микроэлемента, чем особи популяций тех же видов, населяющих агроэкосистемы на террасах и склонах. Эти различия в среднем превышают 2,5 раза.

Сопоставимые с вышеуказанными различия можно обнаружить не только на уровне отдельных популяций, но и среди отдельных видов (табл. 2). Например, гусеницы *Helicoverpa armigera*, поедающие растения подсолнечника в пойме, аккумулируют в 2,8 раза больше селена, чем представители этого же вида на террасах, клоп *Eurygaster integriceps* на полях пшеницы – в 2,3 раза, а миксофаг *Harpalus rufipes* – в 2,1 раза. Данная закономерность может нарушаться, если вид населяет естественные экосистемы, отличаю-

Таблица 2

### Содержание селена в некоторых видах насекомых (мкг/кг)

Вид	Типы экосистем	
	пойменные экосистемы	экосистемы террас и склонов
<i>Aelia acuminata</i> L.	529	457±99
<i>Dolicoris baccarum</i> L.	510±73	850±185
<i>Graphosoma italicum</i> L.	812±61	582±25
<i>Eurygaster integriceps</i> Puton	693±352	300±66
<i>Harpalus rufipes</i> Deg.	1871±67	897±523
<i>Anisoplia austriaca</i> Hbst.	1062±105	715±18
<i>Helicoverpa armigera</i> Hübner (гусеницы)	1561±1212	564±44

щиеся разнообразием растительного покрова. Такая ситуация наблюдается у популяций *Dolicoris baccarum* в пойменных агроэкосистемах и на участках степных экосистем.

Результаты нашего исследования хорошо согласуются с тем, что уровни концентраций селена в насекомых могут варьировать в широких пределах, причем концентрации элемента у хищных насекомых значительно выше, чем у видов, у которых в рационе есть растительная пища [15; 16, с. 474].

Известно, что накопление селена наземными насекомыми может вызвать биомагнификацию этого микроэлемента в пищевой цепи, которая выражается в повышенных концентрациях селена в организме многих других беспозвоночных, птиц и млекопитающих, трофически связанных с насекомыми [19, с. 64]. Рассмотрим изучаемые пищевые цепи в разных типах экосистем с этой точки зрения. Принимая содержание селена в почвах за единицу, можно выразить содержание этого элемента в остальных звеньях пищевой цепи по отношению к его содержанию в почве (рис. 2).

Так, в биогеохимической пищевой цепи пойменных ландшафтов содержание элемента при переходе от почв к растениям в среднем практически не изменяется, и, напротив, на террасах и склонах его содержание снижается более чем в два раза.

На следующем этапе, при переходе от растений к фитофагам, содержание селена значительно возрастает: в организме консументов первого порядка его концентрация увеличивается в 1,5–2,7 раза по сравнению с концентрацией элемента в пище. При этом наиболее интенсивное накопление

элемента в организме фитофагов происходит в пищевой цепи пойменных экосистем, хотя и на террасах фитофаги могут аккумулировать более чем в 2 раза больше селена, чем его содержится в почвах. Во всех трёх случаях этот этап является наиболее значительным в биоаккумуляции элемента.

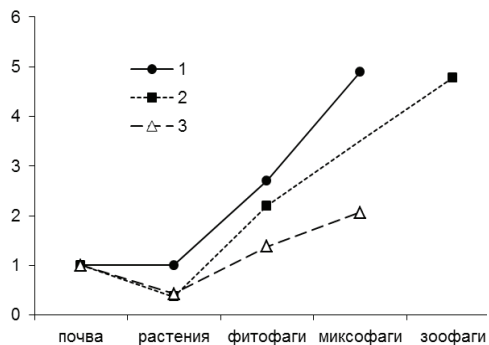


Рис. 2. Соотношение концентраций селена в биогеохимических пищевых цепях экосистем Кучурганской степной равнины: 1 – агроэкосистемы в пойме, 2 – степная экосистема на склонах, 3 – агроэкосистемы на террасах и склонах.

Животные со смешанным питанием (миксофаги) аккумулируют в среднем в 2,1 (терраса) и в 4,9 раз (пойма) больше селена, чем его содержится в почвах. Наши данные по содержанию элемента также свидетельствуют о том, что степные зоофаги накапливают почти в 2 раза больше селена, чем растительоядные насекомые и в 4,8 раз больше его содержания в почвах. Заметим, что концентрация селена в пищевой цепи степной экосистемы существенно выше, чем в агроэкосистеме. Данный факт можно объяснить как несравнимо большим видовым разнообразием растений и животных в степной экосистеме, так и, вероятно, большим запасом селена в почве, по-

скольку в агроэкосистемах часть селена ежегодно отчуждается с урожаем.

Изучение миграции селена в пищевой цепи «фитофаг – зоофаг» в экспериментальных условиях [18, с. 503] показало отсутствие биомагнификации, однако замечено, что биологический перенос селена на более высокий трофический уровень отражает концентрации элемента в пище. Так, например, если в контрольной группе не наблюдалось отличий в содержании микроэлемента у гусениц и их хищников, то гусеницы в экспериментальных группах содержали значительно больше селена. Результаты нашего исследования, напротив, указывают, что в пищевых цепях пойменных экосистем наблюдается явление биомагнификации селена. В экосистемах на террасах закономерное увеличение концентрации элемента прослеживается только при переходе от растений к фитофагам, а от них – к миксофагам (или зоофагам).

Биогеохимические пищевые цепи в экосистемах пойменных ландшафтов долины нижнего Днестра характеризуются высокими концентрациями

селена в основных звеньях, причём содержание элемента не только не уменьшается при переходе к высшим трофическим уровням, но и наблюдается явление биомагнификации. Это, с одной стороны, указывает на высокое содержание элемента в растительной пище, с другой – свидетельствует об оптимальной обеспеченности селеном пищевых цепей. В степных агроэкосистемах на склонах и террасах уровень биоаккумуляции оказался ниже, однако и в данном случае закономерное увеличение концентрации элемента наблюдается при переходе от растений к фитофагам, а от них – к высшим трофическим уровням. Такие различия прослеживаются не только среди разных трофических групп насекомых, но и на уровне отдельных видов.

Выявленные закономерности свидетельствуют о различном экологическом статусе селена в экосистемах разных типов ландшафтов, обусловленных характером аккумулятивных процессов и водных связей [8, с. 112] и, как результат, разной миграционной способностью и биодоступностью элемента для биоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голубкина Н.А., Капитальчук М.В., Капитальчук И.П. Селен в почвах на разных высотных уровнях рельефа Днестровско-Прутского междуречья // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 1. С. 98–101.
2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. М.: Наука, 2008. 315 с.
3. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Селен и его антагонисты в биогеохимической цепи «почва – растение» в условиях Приднестровья // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 2. С. 137–141.
4. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва–растения–человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 323–335.
5. Капитальчук И.П., Капитальчук М.В., Голубкина Н.А. Экологический статус селена в природно-антропогенных ландшафтах бассейна Днестра // Биогеохимия и биохимия



- микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: материалы VIII международной Биогеохимической школы. М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С. 34–38.
6. Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. М.: Колос, 1969. 272 с.
  7. Озерский А.Ю. Основы геохимии окружающей среды. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 316 с.
  8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / 2-е изд. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.
  9. Покаржевский А.Д. Геохимическая экология наземных животных. М.: Наука, 1985. 300 с.
  10. Покаржевский А.Д. Геохимическая экология наземных животных (биоиндикационные и радиоэкологические аспекты): автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1993. 40 с.
  11. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / 2-е изд. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.
  12. Шешницан С.С. Обоснование сети биогеохимического мониторинга Кучурганской степной равнины // Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки. 2013. № 2 (44). С. 170–175.
  13. Ягодин Б.А., Жуков Ю.В., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М.: Колос, 2002. 584 с.
  14. Alfthan G.A. Micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // *Anal. Chim. Acta*. 1984. Vol. 65. P. 187–194.
  15. Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M. Ecological importance of insects in selenium biogenic cycling // *International Journal of Ecology*. 2014. Vol. 2014 [Article ID 835636]. 6 p.
  16. Ohlendorf H.M. Ecotoxicology of selenium // *Handbook of Ecotoxicology* / 2-nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003. P. 465–500.
  17. Schowalter T.D. Insects and sustainability of ecosystem services. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. 378 p.
  18. Vickerman D.B., Trumble J.T. Biotransfer of selenium: effects on an insect predator, *Podisus maculiventris* // *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12. P. 497–504.
  19. Vickerman D.B., Trumble J.T. Feeding preferences of *Spodoptera exigua* in response to form and concentration of selenium // *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 1999. Vol. 42. P. 64–73.

#### REFERENCES

1. Golubkina N.A., Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P. Selen v pochvakh na raznykh vysotnykh urovnyakh rel'efa Dnestrovsko-Prut'skogo mezhdurech'ya [Selenium in soils at different altitude levels of elevation of the Dniester-Prut interfluve] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2012. no. 1. pp. 98–101.
2. Ermakov V.V., Tyutikov S.F. Geokhimicheskaya ekologiya zhivotnykh [Geochemical ecology of animals]. М., Nauka, 2008. 315 p.
3. Kapitalchuk M.V., Golubkina N.A., Kapitalchuk I.P. Selen i ego antagonisty v biogeokhimicheskoi tsepi «pochva – rastenie» v usloviyakh Pridnestrov'ya [Selenium and its antagonists in the "soil – plant" biogeochemical chain in Transnistria] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2011. no. 2. pp. 137–141.
4. Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P., Golubkina N.A. Akkumulyatsiya i migratsiya selena v komponentakh biogeokhimicheskoi tsepi «pochva–rasteniya–chelovek» v usloviyakh Moldavii [The selenium accumulation and migration in components of the "soil–plants–man" biogeochemical chain in Moldavia] // *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 2011. no. 3. pp. 323–335.
5. Kapitalchuk I.P., Kapitalchuk M.V., Golubkina N.A. Ekologicheskii status selena v prirod-

- no-antropogennykh landshaftov basseina Dnestra [The ecological status of selenium in natural-anthropogenic landscapes of the Dniester river basin] *Biogeokhimiya i biokhimiya mikroelementov v usloviyakh tekhnogeneza biosfery: materialy VIII mezhdunarodnoi Biogeokhimicheskoi shkoly* [Biogeochemistry and biochemistry of trace elements under conditions of technogenesis of the biosphere: Proceedings of the VIII International Biogeochemical School]. M., GEOKHI RAN, 2013. pp. 34–38
6. Koval'skii V.V., Gololobov A.D. *Metody opredeleniya mikroelementov v organakh i tkanyakh zhivotnykh, rasteniyakh i pochvakh* [Methods for the determination of trace elements in organs and tissues of animals, plants and soils]. M., Kolos, 1969. 272 p.
  7. Ozerskii A.Yu. *Osnovy geokhimii okruzhayushchei sredy* [Fundamentals of Environmental Geochemistry]. Krasnoyarsk, IPK SFU, 2008. 316 p.
  8. Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta / 2-e izd* [Geochemistry of landscape, 2nd ed]. M., Vysshaya shkola, 1975. 342 p.
  9. Pokarzhevskii A.D. *Geokhimicheskaya ekologiya nazemnykh zhivotnykh* [Geochemical ecology of terrestrial animals]. M., Nauka, 1985. 300 p.
  10. Pokarzhevskii A.D. *Geokhimicheskaya ekologiya nazemnykh zhivotnykh (bioindikatsionnye i radioekologicheskie aspekty): avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk* [Geochemical ecology of terrestrial animals (bioindicative and radioecological aspects): abs. dis. ... doctor. biol. sciences]. M., 1993. 40 p.
  11. Fasulati K.K. *Polevoe izuchenie nazemnykh bespozvonochnykh / 2-e izd* [Field study of terrestrial invertebrates / 2nd ed]. M., Vysshaya shkola, 1971. 424 p.
  12. Sheshnitsan S.S. *Obosnovanie seti biogeokhimicheskogo monitoringa Kuchurganskoj stepnoi ravniny* [Justification of the network of the biogeochemical monitoring in the steppe plains] // *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Seriya «Mediko-biologicheskie i khimicheskie nauki»*. 2013. no. 2 (44). pp. 170-175.
  13. Yagodin B.A., Zhukov YU.V., Kobzarenko V.I. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. M., Kolos, 2002. 584 p.
  14. Alftan G.A. *Micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry* // *Anal. Chim. Acta*. 1984. Vol. 65. P. 187–194.
  15. Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M. *Ecological importance of insects in selenium biogenic cycling* // *International Journal of Ecology*. 2014. Vol. 2014 [Article ID 835636]. 6 p.
  16. Ohlendorf H.M. *Ecotoxicology of selenium* // *Handbook of Ecotoxicology / 2-nd ed*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003. P. 465–500.
  17. Schowalter T.D. *Insects and sustainability of ecosystem services*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. 378 p.
  18. Vickerman D.B., Trumble J.T. *Biotransfer of selenium: effects on an insect predator, Podisus maculiventris* // *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12. P. 497–504.
  19. Vickerman D.B., Trumble J.T. *Feeding preferences of Spodoptera exigua in response to form and concentration of selenium* // *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 1999. Vol. 42. P. 64–73.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шешницан Сергей Сергеевич* – аспирант кафедры физической географии и землеустройства Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко;  
e-mail: sheshnitsan@gmail.com

*Капитальчук Марина Владимировна* – кандидат биологических наук, доцент кафедры биоэкологии Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко;  
e-mail: kapitalim@mail.ru

*Голубкина Надежда Александровна* – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Агрохимический испытательный центр ВНИИССОК;  
e-mail: segolubkina45@gmail.com

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

*Sheshnitsan Sergey S.* – post-graduate student of the department of physical geography and land management at the Taras Shevchenko Transnistria State University;  
e-mail: sheshnitsan@gmail.com

*Kapitalchuk Marina V.* – candidate of biological sciences, associate professor of the department of bioecology at the Taras Shevchenko Transnistria State University;  
e-mail: kapitalim@mail.ru

*Golubkina Nadezhda A.* – doctor of agricultural sciences, leading researcher, Agrochemical Experimental Centre, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding and Vegetable Seed Culture;  
e-mail: segolubkina45@gmail.com

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

*Шешницан С.С., Капитальчук М.В., Голубкина Н.А.* Особенности биоаккумуляции селена в контрастных ландшафтно-геохимических условиях // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 4. С. 67–77.  
DOI: 10.18384/2310-7189-2016-4-67-77

#### BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

*S. Sheshnitsan, M. Kapitalchuk, N. Golubkina.* Peculiarities of selenium bioaccumulation under contrasting landscape and geochemical conditions // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural sciences. 2016. no 4. Pp. 67–77.  
DOI: 10.18384/2310-7189-2016-4-67-77