

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

РОЛЬ ВОДЫ В ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЕНОМ  
БИОТЫ МОЛДАВИИ

М.В. Капитальчук

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,  
Молдова, Приднестровье, 3300, г. Тирасполь ул. 25 Октября, 128

**РЕЗЮМЕ.** В результате системных биогеохимических исследований содержания селена в экосистемах Молдавии выяснилось, что валовое содержание селена в почвах (100–668 мкг/кг, среднее 246 мкг/кг) и в сельскохозяйственных растениях (80–166 мкг/кг, среднее 112 мкг/кг) не в полной мере отражает обеспеченность этим элементом животных и человека. В мышечной массе сельскохозяйственных животных содержание селена 147–590 мкг/кг; в сыворотке крови человека – 76–254 мкг/л, среднее значение – 146 мкг/л, у сельских жителей селеновый статус выше, чем у городских. В почвах степного района наблюдаются участки с недостатком селена (100 мкг/кг), в то время как именно в степном районе отмечаются аномально высокие концентрации селена в биоте водных экосистем. *Agaricus bisporus* аккумулирует селен в диапазоне 1980–24920 мкг/кг, то есть шампиньон является чувствительным биоиндикатором доступного селена в почвах. В геохимических условиях Молдавии важную роль в обеспеченности селеном живых организмов играет его повышенное содержание в природных водах: 0,200–6,090 мкг/л, при среднем значении 1,831 мкг/л для поверхностных и 1,795 мкг/л для грунтовых вод. В водных экосистемах этой страны биота может накапливать аномально высокие концентрации селена. В водных растениях содержание селена 19–2917 мкг/кг. Среднее содержание селена в растениях водных экосистем следующее, мкг/кг: прибрежные растения – 139, гелофиты – 182, водоросли – 532, гидрофиты – 855. Содержание селена в мышечной ткани рыб фоновых водных объектов 323–517 мкг/кг, в рыбных хозяйствах 409–646 мкг/кг, в Кучурганском водохранилище-охладителе тепловой электростанции 665–1277 мкг/кг. В мышечной ткани водоплавающих птиц содержание селена в фоновых водоемах до 1158 мкг/кг, а в Кучурганском водохранилище – до 2370 мкг/кг. Таким образом, на фоне невысокого содержания валового селена в почвах природные воды Молдавии характеризуются высокими концентрациями селена, а водные организмы его очень интенсивно накапливают.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** селен, экосистемы, селеновый статус, вода, почва, растения, животные, человек.

**ВВЕДЕНИЕ**

Нормальное функционирование любого организма зависит от содержания и соотношения в нем химических элементов. Обеспеченность всех живых организмов биогенными элементами зависит от содержания этих элементов во всех компонентах окружающей среды – воздухе, воде, почве, почвообразующей породе. Как отмечает В.В. Добровольский, современная биогеохимия изучает процессы миграции и массообмена химических элементов между живыми организмами и окружающей средой (Добровольский, 2003). Существует устойчивое мнение, что общее содержание биогенного элемента в почвах определяет обеспеченность этим элементом рас-

тений, животных и человека. Во многих случаях это так. С другой стороны, некоторые авторы (Оберлис и др., 2008, с. 96) отмечают существенное влияние воды как важного компонента пищевого рациона, роль которого часто недооценивается.

Миграция элементов в экосистемах и способность живых организмов аккумулировать тот или иной элемент также зависят от геохимических условий региона. Можно говорить о благоприятных условиях миграции и аккумуляции элемента (Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., 2020) и неблагоприятных, независимо от общего содержания рассматриваемого элемента в компонентах окружающей среды.

\* Адрес для переписки:

Капитальчук Марина Владимировна  
E-mail: marinakapitalchuk@yandex.ru

Системные исследования по биогеохимии селена в Молдавии начались с 2004 г. и на сегодняшний день они приобрели многоаспектный характер, охватывая почвенно-геохимические, ландшафтно-геохимические, эколого-геохимические и медико-географические аспекты.

Цель работы – на основе 15-летних системных исследований в Молдавии оценить значение поверхностных и подземных вод для обеспеченности живых организмов селеном в биогеохимических условиях исследуемого региона.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы воды брали в различных местах изучаемой территории: из поверхностных водоемов и водотоков, из колодцев и родников, артезианских скважин. Всего отобрано 27 образцов воды. Пробы воды брали в сельской местности и в условиях городской среды. Предварительный выбор участков для взятия почвенных образцов (139 усредненных проб) осуществляли с помощью почвенной карты масштаба 1:200000, по которой определяли местоположение характерных площадок для ареала распространения определенного типа почв. Место для закладки шурфа или почвенной ямы выбирали с учетом рельефа местности, экспозиции, растительного покрова. Предпочтение при выборе характерных площадок отдавали сельскохозяйственным угодьям, в связи с тем, что одновременно со сбором почвенных образцов на этих же участках отбирали пробы растений. Образцы почв собирали профильно-гнездовым методом в пределах микро- и мезорельефа (на водоразделах, склонах, террасах, поймах). В зависимости от величины исследуемого участка из 5–10 индивидуальных образцов, отобранных равномерно со всей площади, составляли усредненную пробу. Взятие почвенных образцов осуществляли в соответствии с требованиями агрохимических методов исследования почв. Образцы почв, высушенные при комнатной температуре, просеивали через сито 1 мм и растирали в агатовой ступке.

Содержание селена в пробах воды и почвенных образцах определяли атомно-абсорбционным методом с помощью спектрофотометра AAnalyst800 (Perkin Elmer) с проточно-инжекционной системой FLAS-400. Методика подготовки проб и определения селена подробно изложена в работе (Богдевич и др., 2005).

Для оценки степени извлечения селена и правильности полученных результатов использовали два способа разложения почв:

- 1) смесью азотной и соляной кислот (царской водкой);
- 2) азотной кислотой в присутствии перекиси водорода.

При оценке способа разложения почв исследовали выборку из 16 образцов почв. Анализ расхождения результатов между двумя способами разложения выполняли по методике, предложенной Г.В. Остроумовым (Методические основы исследования, 1987). В ходе анализа установлено, что рассчитанное значение нормированной случайной величины  $U_{\text{exp}} = 1,52$  меньше теоретического значения  $U_{\text{theor}} = 1,96$ . Исходя из этого, можно говорить о том, что результаты определения селена, полученные для двух разных способов кислотной деструкции, принадлежат к одной совокупности.

Растения (64 усредненных образца) собирали в местах отбора почвенных проб в соответствии со стандартными методиками (Ковальский, Гололобов, 1969). Пробы водной растительности (усредненных 45 образца) отбирали в двух крупных водных объектах – реке Днестр и лимане-водохранилище реки Кучурган, а также в небольших водоемах и водотоках, расположенных в бассейне Среднего и Нижнего Днестра. Образцы измельченных растений просушивали без доступа прямых солнечных лучей, а затем перемалывали в муку.

Грибы (21 образец) собирали осенью в экосистемах, расположенных в долине Среднего и Нижнего Днестра. Каждая из этих экосистем занимает определенный элемент рельефа и может быть представлена как элементарный геохимический ландшафт того или иного типа (Перельман, 1975). Образцы грибов были отобраны в пределах элементарных геохимических ландшафтов следующих типов:

- элювиальный урбанизированный – скверы в городах Бендеры и Дубоссары;
- транзитные – склоны у сел Севериновка, Рашков, Белочи, Дойбаны и города Каменка;
- аккумулятивный – участок центральной поймы реки Днестр у села Кицканы;
- искусственная среда – искусственная питательная среда на фермах по выращиванию грибов.

Собранные грибы высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, а затем их гомогенизировали. Каждый образец был представлен не менее чем 10 особями грибов. Подготовленные образцы хранили до анализа в герметичных полиэтиленовых контейнерах.

Продукты пчеловодства (пчелиный подмор, мед, пыльца, перга, прополис) приобретали с частных пасек Каменского, Рыбницкого, Дубоссарского, Григориопольского, Слободзеского, Флорешского, Леовского районов, а также в окрестностях городов Тирасполь и Бендеры. Кроме меда и прополиса, все образцы апипродуктов просушивали до воздушно-сухого состояния и размалывали при комнатной температуре.

Спелые грецкие орехи собирали летом с 66 почвенных ареалов Молдавии. Содержание селена устанавливали в пробах орехов от 3–5 деревьев для каждого места сбора. В качестве объектов исследования использовали ядро ореха.

Образцы мышечной ткани диких видов млекопитающих (кабан, заяц русак) и птиц (чирок-свистун, красноносый нырок, серая утка, кряква, камышница, лысуха, зимородок обыкновенный, бекас, фазан обыкновенный) были получены от охотников, а домашних млекопитающих (коровы, овцы, козы, свиньи, кролики), птиц (куры, утки, гуси) и рыб (карась серебряный, карп, толстолобик пестрый, белый амур, окунь речной) приобретали у сельских жителей и у рыбаков. Проанализированы образцы млекопитающих (31), птиц (22), рыб (19). Биологический материал хранили до начала анализа при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Затем образцы гомогенизировали и определяли в них содержание селена.

Материалом для исследований послужили также образцы сыворотки крови жителей Молдавии, проживающих в долине Днестра. При этом 62 образца были отобраны из 26 левобережных населенных пунктов, начиная от г. Каменка на севере и заканчивая с. Незавертайловка и пос. Первомайский на юге. На правом берегу Днестра 16 образцов сыворотки крови получены от жителей г. Бендеры и сел Кицканы, Кременчук.

Содержание селена в образцах растений, грибов, продуктов пчеловодства, мышечной ткани животных, сыворотке крови жителей определяли флуориметрическим методом с использованием референс-стандартов (Alfthan, 1984): пшеничной муки (Сельскохозяйственный центр, Финляндия), лиофилизованной сыворотки крови 23-ЕКТ (Nirpan, Осло), лиофилизованного образца мышечной

ткани (Сельскохозяйственный центр, Финляндия) с регламентированным содержанием селена соответственно 89, 79 и 394 мкг/кг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На момент начала исследований было известно содержание селена в водах Молдавии, установленное в советский период (Крайнов и др., 1983). Была выделена Молдавская гидрогеохимическая провинция с повышенным содержанием селена в грунтовых и напорных водах. Достаточно высокие концентрации селена в подземных водах Молдавии отмечались и в 70-х годах XX века (Зеленин, 1972; Свеженцов и др., 1976).

В водах селен может находиться в виде  $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{HSe}^{-}$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSeO}_3^{-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSeO}_4^{-}$ . Возможны также коллоидный селен и селеноорганические соединения (Сидельникова, 1999). В подземных водах селеноорганические соединения могут составлять более 70% от общего количества растворенного элемента (Крайнов и др., 1983). Содержание селена в подземных водах связано с глубиной формирования этих вод и зависит от изменений концентраций в них кислорода и показателя Eh (Шварцев, 1978).

Содержание селена в грунтовых водах повышается при переходе от ландшафтов гумидного климата к аридным (Сидельникова, 1999). В аридных ландшафтах, к которым относятся рассматриваемые экосистемы Молдавии, воды более щелочные. В таких водах селен обычно присутствует в виде  $\text{Se}^0$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSeO}_3^{-}$  и  $\text{SeO}_4^{2-}$  (Milne, 1998). Считается, что селениты и селенаты являются химически стабильными в природных водах (Scott, Morgan, 1996).

Преобладающими растворимыми и наиболее подвижными формами селена в почвах, а значит, и более доступными для растений, являются селенаты ( $\text{Se}^{6+}$ ). В то же время селениты ( $\text{Se}^{4+}$ ) проявляют большую способность для адсорбции на поверхности почвенных частиц. Они обладают меньшей растворимостью, чем  $\text{Se}^{6+}$ , и менее доступны для растений. Природный селен ( $\text{Se}^0$ ) и  $\text{Se}^{2+}$  в соединениях с металлами или соли селенсульфидов являются восстановленными формами в почве. Низкая растворимость и окислительная способность этих форм делает их труднодоступными для растений (McNeal, Balistrieri, 1989; Mikkelsen et al., 1989). На подвижность селена большое влияние оказывает климатический фактор. В засушливых условиях и характерных для них почвах с щелочной средой

селен приобретает значительную подвижность в форме селенит- и селенат-ионов (Касумов, 1979).

В результате анализа усредненных проб, соответствующих 11 типам и подтипам почв Молдавии (Kapitalchuk, 2014) было отмечено относительно невысокое содержание селена в почвах. Диапазон колебаний составляет от 100 до 668 мкг/кг, среднее – 246 мкг/кг. Авторы (Tan et al., 2002) предлагают следующие градации селена в почвах: менее 125 мкг/кг – область селенодефицита; 125–175 мкг/кг – маргинальная недостаточность; 175–3000 мкг/кг – область оптимума; более 3000 мкг/кг область избытка. Исходя из предложенных градаций, на территории Молдавии имеют место как оптимальные, так и дефицитные концентрации селена (100 мкг/кг) в почвах.

Селениты ( $Se^{4+}$ ) и селенаты ( $Se^{6+}$ ) могут поступать прямо из почвенных растворов в растения, но при этом корни аккумулируют  $Se^{4+}$  не более чем его содержание в наружном растворе, в то время как  $Se^{6+}$  аккумулируется значительно активнее, и его концентрация в корне превышает содержание в наружном растворе (Shrift, Ulrich, 1969). Проникая в растения и следуя по пути серы в виде селенит- и селенат-ионов, селен восстанавливается до селенид-ионов, замещая серу в серосодержащих аминокислотах. Часть селена остается в растениях в виде селенит- и селенат-ионов, то есть значительная часть селена (особенно в стеблях и листьях) находится в водорастворимой форме (Касумов, 1979).

Исследования сельскохозяйственных растений (Капитальчук и др., 2011) говорят о благоприятных условиях для аккумуляции селена растениями. Средние концентрации селена в сельскохозяйственных растениях, являющихся важными источниками этого элемента для животных и человека, составили, мкг/кг: сорго – 147, подсолнечник – 125, кукуруза – 117, клевер – 111, люцерна – 110, овес – 107, ячмень – 106, пшеница – 106. В целом диапазон концентраций для надземной части растений (от 80 до 166 мкг/кг) не отличается от диапазона концентраций селена в зерне пшеницы, ячменя и овса (от 78 до 157 мкг/кг).

Пределы нормального содержания селена в надземной части зерновых составляют 10–200 мкг/кг, зерне 20–500 мкг/кг, бобовых травах 100–900 мкг/кг (Кирилюк, 2006, с. 46). Таким образом, можно отметить нормальное накопление селена сельскохозяйственными растениями в геохимических условиях Молдавии.

Доступность селена для живых организмов подтверждают также исследования компонентов экосистем, которые могут служить показателем биодоступности элемента для живых организмов. Так, шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus*) в условиях Молдавии аккумулирует селен в диапазоне 1980–24920 мкг/кг сухого вещества, максимальное накопление этого элемента отмечено в пойме реки Днестр. То есть шампиньон является чувствительным биоиндикатором доступного селена в почвах (Kapitalchuk et al., 2014a). В пчелах (*Apis mellifera*) (пчелиный подмор) селен содержится от 308 до 1234 мкг/кг (среднее 667 мкг/кг), в перге – от 214 до 312 мкг/кг (среднее 249 мкг/кг), прополисе – от 99 до 257 мкг/кг (среднее 142 мкг/кг), меде – от 72 до 149 мкг/кг (среднее 109 мкг/кг) (Golubkina et al., 2016).

Интенсивно накапливается селен в плодах грецкого ореха (в среднем  $258 \pm 64,2$  мкг/кг) на всей территории Молдавии (Капитальчук и др., 2012). Много селена накапливает мышечная ткань диких животных: дикого кабана 373–394 мкг/кг, зайца русака – 155–228 мкг/кг, птиц – 89–1158 мкг/кг (Капитальчук и др., 2019).

Местные продукты питания в достаточной мере обеспечены селеном. Например, одно куриное яйцо, произведенное в Молдавии, может обеспечить 25–30%, 100 г брынзы – от 30 до 50%, 100 г грецких орехов – от 30 до 100% предусмотренной суточной нормы потребления селена (Капитальчук и др., 2011a). Концентрации селена в черном хлебе сопоставимы с концентрациями в зерне зерновых местного происхождения, а в белом хлебе сопоставимо с оценками, выполненными для молдавской муки (Голубкина, 1998).

Содержание селена в местной мясной продукции (курятина, говядина, баранина, козлятина, свинина) находится в пределах интервалов значений 147–590 мкг/кг (Капитальчук и др., 2019).

Население долины Днестра также отличается высокой обеспеченностью селеном. Диапазон концентраций селена в сыворотке крови составил от 76 до 254 мкг/л (среднее значение 146 мкг/л) (Капитальчук и др., 2011). Были исследованы 8 административных районов Молдавии, расположенных преимущественно в долине Днестра. Наибольший средний уровень обеспеченности селеном населения наблюдается в правобережных селах (182,67 мкг/л) и Каменском районе (159,83 мкг/л). Наименьшим селеновым статусом отличаются жители Рыбницкого (112,8 мкг/л) и

Дубоссарского (126,33 мкг/л) районов. Причем средняя обеспеченность микроэлементом населения Рыбницкого района ниже оптимальной. Селеновый статус жителей Григориопольского и Слободзейского районов, а также городов Тирасполь и Бендеры очень близок и составляет примерно 140 мкг/л.

Коэффициент корреляции между средним уровнем концентрации селена в сыворотке крови жителей и средним валовым содержанием селена в почве соответствующего почвенного ареала составил всего +0,606 ( $p \leq 0,05$ ) (Капитальчук и др., 2008). Для почв лесостепной части изучаемой территории среднее содержание селена составило  $347 \pm 85$  мкг/кг, а для почв степной части –  $222 \pm 65$  мкг/кг. Уровень содержания селена в почвах изучаемой территории в основном соответствует условной области оптимума. Однако в почвах степного района наблюдаются отдельные участки с маргинальной недостаточностью микроэлемента и даже случаи селенодефицита. В то время как именно в степном районе отмечаются аномально высокие концентрации селена в биоте водных экосистем. Стоит отметить, что случаи селенотоксикозов среди населения не были зафиксированы в исследуемом регионе.

Существуют сведения о том, что есть связь между обеспеченностью населения селеном с заболеваемостью COVID-19 (Йованович, Ермаков, 2020). Число зараженных коронавирусом в Молдавии на 1 млн больше (46 044), чем в соседней Украине (30 943) и России (29 088), но ближе к этим показателям Румынии (41 874) (данные на 28.02.21). Так, несмотря на то, что население Молдавии обеспечено жизненно необходимым элементом селеном, заболеваемость выше, чем в регионах с дефицитом селена. Для нормального функционирования живых организмов имеет большое значение соотношение жизненно важных элементов и отсутствие опасных загрязнителей, например, таких как пестициды, которыми почвы Молдавии сильно загрязнены (Капитальчук, 2021).

Известно, что обеспеченность организма человека селеном влияет на работу сердечно-сосудистой системы (Оберлис и др., 2008). Важно отметить, что долина Днестра является районом долгожителей, и это несмотря на высокую степень химизации сельского хозяйства в советский период. Основные показатели функционального состояния сердечно-сосудистой системы у долгожителей Приднестровья (за исключе-

нием 100-летних и старше) значимо не отличаются или незначительно ниже, чем у представителей предыдущей возрастной группы, и не различаются между представителями возрастных групп долгожителей 90–94 и 95–99 лет. Индекс адаптационного потенциала у долгожителей не отличается от этого показателя в предыдущей возрастной группе, что свидетельствует о замедленных темпах инволютивных и дегенеративных процессов в сердечно-сосудистой системе у большинства долгожителей (Птахина, Шептицкий, 2019).

Большинство долгожителей – выходцы из сельской местности. Обеспеченность селеном сельских жителей (149,47 мкг/л) заметно выше средней обеспеченности микроэлементом жителей районных центров и городов (139,54 и 138,87 мкг/л соответственно). По сравнению с общей выборкой, доля населения, испытывающего относительный дефицит селена (менее 100 мкг/кг), в сельской местности сокращается с 12 до 8%, а число сельских жителей с «предоптимальной» обеспеченностью (101–120 мкг/л) микроэлементом уменьшается на 3%. Вместе с тем доля населения с превышением нижнего порога области оптимальной обеспеченности селеном в сельской местности достигает 70%, что выше на 7% по сравнению с общей выборкой (Капитальчук и др., 2011).

Таким образом, в результате системного изучения селена в экосистемах Молдавии выяснилось, что на фоне невысокого валового содержания селена в почвах и умеренного накопления его сельскохозяйственными растениями, наблюдаются высокие его концентрации в организме животных и человека.

Как было отмечено выше, еще 40 лет назад была выделена Молдавская гидрогеохимическая провинция с повышенным содержанием селена в грунтовых и артезианских водах. Артезианские воды являются основным источником питьевого водоснабжения в исследуемом регионе. По мнению В.В. Ермакова, уровень содержания селена в грунтовых и поверхностных водах является важным показателем, так как служит одним из критериев биогеохимического прогноза экологического статуса селена различных ландшафтов (Ермаков, 1997).

Исследования, проведенные нами, подтвердили высокое содержание селена в водных объектах, в которых количество этого элемента – от 0,200 до 6,090 мкг/л, при среднем значении 1,831

мкг/л для поверхностных и 1,795 мкг/л для грунтовых вод (Капитальчук и др., 2012). Для сравнения стоит указать содержание селена в реках Европейской части России и Кавказа, которое находится в диапазоне от 0,2 до 0,5 мкг/л, в речных водах Белоруссии – от 0,35 до 0,85 мкг/л (Сидельникова, 1999).

Высокий экологический статус селена в водных объектах Молдавии определяет его высокое содержание в водорослях и водных растениях от 19 до 2917 мкг/кг. Среднее содержание селена в растениях водных экосистем следующее, мкг/кг: прибрежные растения – 139, гелофиты – 182, водоросли – 532, гидрофиты – 855 (Капитальчук и др., 2013).

Высоким содержанием селена отличаются водные организмы. Количество данного элемента в мышечной ткани рыб фоновых водных объектов варьировало в диапазоне 323–517 мкг/кг сырой массы, в рыбных хозяйствах – 409–646 мкг/кг, Кучурганском водохранилище-охладителе тепловой электростанции – 665–1277 мкг/кг. Особенно высокие концентрации селена обнаружены в мышечной ткани водоплавающих птиц: в фоновых водоемах до 1158 мкг/кг, а в Кучурган-

ском водохранилище до 2370 мкг/кг (Капитальчук и др., 2019). Отметим, что в Кучурганском водохранилище максимальные концентрации селена в мышечной ткани водоплавающих птиц и рыб превышают ПДК для мясных и рыбных продуктов (1000 мкг/кг), а для птиц превышение данного норматива наблюдалось и в фоновых водоемах.

## ВЫВОДЫ

На фоне невысокого содержания валового селена в почвах, природные воды Молдавии характеризуются высокими концентрациями селена, а водные организмы его очень интенсивно накапливают. Вода может служить индикатором содержания в почвах водорастворимых форм селена и указывать на доступность селена для растений и последующих звеньев пищевой цепи. Так, шампиньон (*Agaricus bisporus*) является чувствительным биоиндикатором доступного селена в почвах.

Таким образом, в геохимических условиях Молдавии высокую обеспеченность селеном живых организмов определяет не только содержание селена в почвах и растениях, но и его высокое содержание в природных водах.

## ЛИТЕРАТУРА

Богдевич О.П., Измайлова Д.Н., Капитальчук М.В., Тома С.И. Оценка содержания селена в почвах Молдовы. *Buletinul Institutului de Geofizica și geologie al A.S.M.*, 2005; 1: 83–87.

Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.

Голубкина Н.А. Влияние геохимического фактора на накопление селена зерновыми культурами и сельскохозяйственными животными в условиях России, стран СНГ и Балтии. *Проблемы региональной экологии*, 1998; 4: 94–101.

Ермаков В.В. Биогеохимия селена. Региональные и экологические аспекты. Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ, ИМГРЭ, Москва, 1997. Сб. Тезисов. С. 289.

Зеленин И.В. Естественные ресурсы подземных вод Молдавии. Кишинев: 1972. 214 с.

Йованович Л.Н., Ермаков В.В. Значение селена и цинка в предупреждении и лечении некоторых заболеваний. Обзор. Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы. Труды Международного биогеохимического Симпозиума, 5–7 ноября 2020 г. В 2-х томах. Ред коллегия: В.В. Ермаков и др. Т. 1. Тирасполь: ПГУ им. Т.Г. Шевченко, 2020. С. 298–302.

Капитальчук И.П., Капитальчук М.В., Измайлова Д.Н., Богдевич О.П. О содержании Fe, Mn, Zn, Ni, Se, Cu, Pb, Cd в поверхностных и грунтовых водах Молдовы. *Проблемы региональной экологии*, 2012; 3: С. 41–45.

Капитальчук М.В. К вопросу о влиянии биогеохимических условий на заболеваемость COVID-19. *Микроэлементы в медицине*, 2021; 22(1): 37–38.

Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Оценка влияния биогеохимических факторов на обеспеченность селеном жителей долины Днестра. *Микроэлементы в медицине*. 2008; 9(12): 92–93.

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: 323–335.

Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Продукты питания как индикатор обеспеченности ландшафтов Молдавии селеном. *Вестник МГОУ. Серия “Естественные науки”*, 2011а; 4: 90–93.

Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Аккумуляция селена грецкими орехами в экосистемах Днестровско-Прутского междуречья. *Проблемы региональной экологии*, 2012; 1: 71–74.

Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Шешнищан С.С., Капитальчук И.П. Особенности аккумуляции селена растениями водных экосистем Молдавии. Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки», 2013; 3: 104–109.

Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П., Тищенко А.А. Селеновый статус животных Молдавии. Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека. В 2 т. Тула: Тул. гос. пед. ун-т им. Л.Н. Толстого. 2019; 2: 55–59.

Капитальчук М.В., Капитальчук И.П. Проблемные вопросы биогеохимии йода в Молдавии. Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы. Труды Международного биогеохимического Симпозиума, 5-7 ноября 2020 г. В 2-х томах. Ред. коллегия: В.В. Ермаков [и др.]. Том 1. Тирасполь: ПГУ им. Т.Г. Шевченко. 2020: 105–117.

Касумов С.Н. Биологическое значение селена для жвачных животных. Обзорная информация. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979; 2. 49 с.

Кирилюк В.П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. Ch.: Pontos, 2006. 156 p.

Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. М.: Колос. 1969. 272 с.

Крайнов С.Р., Гудзь З.Г., Закутин В.П и др. Геохимия селена в подземных водах. Геохимия. 1983; 3: 359–374.

Остроумов Г.В. (ред.). Методические основы исследования химического состава горных пород, руд минералов. М.: Недра. 1987. С. 98–103.

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Изд. 2. Учеб. пособие для студентов географ. и геолог. специальностей ун-тов. М.: Высш. шк. 1975. 342 с.

Птахина И.В., Шептицкий В.А. Особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы у долгожителей Приднестровья. Успехи геронтологии. 2019; 4: 536–544.

Сидельникова В.Д. Геохимия селена в биосфере. В кн. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды биогеохимической лаборатории. Том 23. М.: Наука. 1999. С. 81–99.

Свеженцов А.И., Тома С.И., Петраков Е.В., Скрипник М.Д., Вайнберг Н.Г., Мельник И.Г. Содержание микроэлементов в кормах и водоисточниках МССР. Кишинев: Карта Молдовеняскэ. 1976. 80 с.

Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра. 1978. 320 с.

Alfthan G.A. Micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. Anal. Chim. Acta, 1984; 65: 187–194.

Golubkina N.A., Sheshnitsan S.S., Kapitalchuk M.V., Erdenotsogt E. Variations of chemical element composition of bee and beekeeping products in different taxons of the biosphere. Ecological Indicators. 2016; 66: 452–457.

Kapitalchuk I., Golubkina N., Kapitalchuk M., Sheshnitsan S. Selenium in Soils of Moldova. Journal of Environmental Science and Engineering A. 2014; 3. 5(29): 268–273.

Kapitalchuk I., Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M., Grishina T. Selenium and other elements accumulation by higher fungi in ecosystems of the Dniester river valley. Studia Universitatis Moldaviae. 2014a; 6(76): 103–107.

McNeal J.M., Balistrieri L.S. Geochemistry and occurrence of Selenium: an overview. In: Jacob L.W. (Ed.). Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America (SSSA). Special Publication, 23. American Society of Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Inc, Wisconsin, USA. 1989: 1–14.

Mikkelsen R.L., Page A.L., Bingham F.T. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In: Jacob L.W. (Ed.). Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America (SSSA). Special Publication, 23. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc, Wisconsin, USA. 1989: 65–94.

Milne J.B. The uptake and metabolism of inorganic selenium species. In: Frankenberger W.T. Jr., Engberg R.A. (Ed.). Environmental chemistry of selenium. Boca Raton (FL, USA): CRC Pr. 1998: 459–476.

Scott M.J., Morgan J.J. 1996. Reactions at oxide surfaces. 2. Oxidation of Se (IV) by synthetic birnessite. Environ. Sci. Technol. 1996; 30: 1990–1996.

Shrift A., Ulrich J.M. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots. Plant. Physiol. 1969; 44: 893–896.

Tan J., Zhu W., Wang W., Li R., Hou S., Wang D., Yang L. Selenium in soil and endemic diseases in China. Sci. Tot. Environ. 2002; 284: 227–235.

## THE ROLE OF WATER IN THE PROVISION OF SELENIUM FOR THE BIOTA OF MOLDOVA

M.V. Kapitalchuk

Shevchenko State University of Pridnestrovia,  
Moldova, Pridnestrovia, 3300, Tiraspol st. 25 octobre 128

**ABSTRACT.** As a result of systemic biogeochemical studies of the selenium content in the ecosystems of Moldova, it was found that the total selenium content in soils (100–668  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , average 246  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) and in agricultural plants (80–166  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , average 112  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) does not fully reflect the provision of this element to animals and humans. In the muscle mass of farm animals Se 147–590  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . In human blood serum 76–254  $\mu\text{g}/\text{L}$ , the average value is 146  $\mu\text{g}/\text{L}$ , the selenium status of rural residents is higher than that of urban residents. In the soils of the steppe region, areas with a Se deficiency (100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) are observed, while it is in the steppe region that abnormally high concentrations of selenium are observed in the biota of aquatic ecosystems. *Agaricus bisporus* accumulates Se in the range 1980–24920  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , that is, champignon is a sensitive bioindicator of available selenium in soils. In the geochemical conditions of Moldova, an important role in the supply of selenium to living organisms is played by its increased content in natural waters: 0.200–6.090  $\mu\text{g}/\text{L}$ , with an average value of 1.831  $\mu\text{g}/\text{L}$  for surface water and 1.795  $\mu\text{g}/\text{L}$  for groundwater. In the aquatic ecosystems of this country, the biota can accumulate abnormally high concentrations of selenium. In aquatic plants 19–2917  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Average Se content ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in plants of aquatic ecosystems: coastal plants (139), helophytes (182), algae (532), hydrophytes (855). The Se content in the muscle tissue of fish in background water bodies is 323–517  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , in fish farms 409–646  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , and the Kuchurgan reservoir-cooler of the thermal power plant is 665–1277  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . In the muscle tissue of waterfowl Se: in background water bodies up to 1158  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , and in the Kuchurgan reservoir up to 2370  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Thus, against the background of a low content of total selenium in soils, natural waters of Moldova are characterized by high concentrations of Se, and aquatic organisms accumulate it very intensively

**KEYWORDS:** selenium, ecosystems, selenium status, water, soil, plants, animals, man.

### REFERENCES

- Bogdevich O.P., Izmailova D.N., Kapitalchuk M.V., Toma S.I. Assessment of the selenium content in the soils of Moldova. Buletinul Institutului de Geofizica și geologie al A.S.M. 2005; 1: 83–87 [in Russ.].
- Dobrovolsky V. V. Fundamentals of biogeochemistry. Moscow: Akademiya. 2003, 400 p. [in Russ.].
- Golubkina N. A. Influence of the geochemical factor on the accumulation of selenium by grain crops and agricultural animals in the conditions of Russia, the CIS countries and the Baltic states. Problems of Regional ecology. 1998; 4: 94–101 [in Russ.].
- Ermakov V.V. Biogeochemistry of selenium. Regional and environmental aspects. International Symposium on Applied Geochemistry of the CIS countries, IMGRE, Moscow. 1997. Collection of abstracts. P. 289 [in Russ.].
- Zelenin I. V. Natural resources of underground waters of Moldova. Chisinau: 1972. 214 p. [in Russ.].
- Jovanovic L.N., Ermakov V.V. The importance of selenium and zinc in the prevention and treatment of certain diseases. Review. Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction. Proceedings of the International Biogeochemical Symposium, November 5–7, 2020. In 2 volumes. Editorial Board: V.V. Ermakov et al. V. 1. Tiraspol: Shevchenko State University. 2020. P. 298–302 [In Russ.].
- Kapitalchuk I. P., Kapitalchuk M. V., Izmailova D. N., Bogdevich O. P. On the content of Fe, Mn, Zn, Ni, Se, Cu, Pb, Cd in surface and ground waters of Moldova. Problems of Regional Ecology. 2012; 3: 41–45 [In Russ.].
- Kapitalchuk M.V. On the question of the influence of biogeochemical conditions on the incidence of COVID-19. Trace elements in medicine, 2021; 22(1): 37–38 (Appendix abstracts) [In Russ.].
- Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P., Golubkina N.A. Assessment of the influence of biogeochemical factors on the selenium supply of residents of the Dniester Valley. Trace elements in medicine. 2008; 9(12): 92–93 [In Russ.].
- Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P., Golubkina N.A. Accumulation and migration of selenium in the components of the biogeochemical chain "soil-plants-man" in the conditions of Moldova. Povolzhsky Ecological Journal. 2011; 3: 323–335 [In Russ.].
- Kapitalchuk M. V., Kapitalchuk I. P., Golubkina N. A. [Food products as an indicator of the availability of selenium in Moldovan landscapes]. Bulletin of the Moscow State University. Series "Natural Sciences". 2011a; 4: 90–93 [In Russ.].
- Kapitalchuk M.V., Golubkina N.A., Kapitalchuk I.P. Accumulation of selenium by walnuts in the ecosystems of the Dniester-Prut interflaves. Problems of regional ecology. 2012; 1: 71–74 [In Russ.].
- Kapitalchuk M.V., Golubkina N.A., Sheshnitsan S.S., Kapitalchuk I.P. Features of selenium accumulation by plants of water ecosystems of Moldova. Bulletin of the Moscow State University. Series "Natural Sciences". 2013; 3: 104–109 [In Russ.].



Kapitalchuk M.V., Golubkina N.A., Kapitalchuk I.P., Tishchenkov A.A. Selenium status of animals in Moldova. Biogeochemistry scientific basis for sustainable development and preservation of human health. In 2 t. Tula: Tula. state.ped. L.N. Tolstoy Univ. 2019; 2: 55–59 [In Russ.].

Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P. Problematic issues of iodine biogeochemistry in Moldova. Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction. Proceedings of the International Biogeochemical Symposium, November 5-7, 2020. In 2 volumes. Editorial Board: V.V. Ermakov et al. Volume 1. Tiraspol: Shevchenko State University. 2020: 105–117 [In Russ.].

Kasumov S.N. Biological significance of selenium for ruminants. Overview information. Moscow: VNIITEISH. 1979; 2: 49–50 [in Russ.].

Kirilyuk V.P. Microelements in the components of the biosphere of Moldova. Ch.: Pontos. 2006. 156 p. [In Russ.].

Kovalsky V.V., Gololobov A.D. Methods for determining trace elements in organs and tissues of animals, plants and soils. Moscow: Kolos. 1969. 272 p. [In Russ.].

Krainov S.R., Gudz Z.G., Zakutin V.P., etc. Geochemistry of selenium in underground waters. Geochemistry. 1983; 3: 359–374 [In Russ.].

Ostroumov G.V. (ed.) Methodological foundations of the study of the chemical composition of rocks, mineral ores. i Moscow: Nedra. 1987. P. 98–103 [In Russ.].

Oberlis D., Harland B., Skalny A. The biological role of macro-and microelements in humans and animals. St. Petersburg: Nauka. 2008. 544 p. [In Russ.].

Perelman A.I. Geochemistry of the landscape. Edition 2. Textbook for students of geographical and geological specialties of the University. Moscow: Vysshaya shkola. 1975. 342 p. [In Russ.].

Ptakhina I.V., Sheptytsky V.A. Features of the functional state of the cardiovascular system in the centenarians of Pridnestrovia. Advances in Gerontology. 2019; 4: 536–544 [In Russ.].

Sidelnikova V.D. Geochemistry of selenium in the biosphere. In the book. Problems of biogeochemistry and geochemical ecology. Proceedings of the Biogeochemical Laboratory. M.: Nauka. 1999; 23: 81–99 [In Russ.].

Svezhentsov A.I., Toma S.I., Petrakov E.V., Skripnik M.D., Vainberg N.G., Melnik I.G. The content of trace elements in feed and water sources of the MSSR. Chisinau: Kartya Moldovenyaski. 1976. 80 p. [in Russ.].

Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of the hypergenesis zone. Moscow: Nedra; 1978. 320 p. [In Russ.].

Alfthan G.A. Micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. Anal. Chim. Acta, 1984; 65: 187–194.

Golubkina N.A., Sheshnitsan S.S., Kapitalchuk M.V., Erdenotsogt E. Variations of chemical element composition of bee and beekeeping products in different taxons of the biosphere. Ecological Indicators. 2016; 66: 452–457.

Kapitalchuk I., Golubkina N., Kapitalchuk M., Sheshnitsan S. Selenium in Soils of Moldova. Journal of Environmental Science and Engineering A. 2014; 3. 5(29): 268–273.

Kapitalchuk I., Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M., Grishina T. Selenium and other elements accumulation by higher fungi in ecosystems of the Dniester river valley. Studia Universitatis Moldaviae. 2014a; 6(76): 103–107.

McNeal J.M., Balistreri L.S. Geochemistry and occurrence of Selenium: an overview. In: Jacob L.W. (Ed.). Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America (SSSA). Special Publication, 23. American Society of Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Inc, Wisconsin, USA. 1989: 1–14.

Mikkelsen R.L., Page A.L., Bingham F.T. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In: Jacob L.W. (Ed.). Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America (SSSA). Special Publication, 23. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc, Wisconsin, USA. 1989: 65–94.

Milne J.B. The uptake and metabolism of inorganic selenium species. In: Frankenberger W.T. Jr., Engberg R.A. (Ed.). Environmental chemistry of selenium. Boca Raton (FL, USA): CRC Pr. 1998: 459–476.

Scott M.J., Morgan J.J. 1996. Reactions at oxide surfaces. 2. Oxidation of Se (IV) by synthetic birnessite. Environ. Sci. Technol. 1996; 30: 1990–1996.

Shrift A., Ulrich J.M. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots. Plant. Physiol. 1969; 44: 893–896.

Tan J., Zhu W., Wang W., Li R., Hou S., Wang D., Yang L. Selenium in soil and endemic diseases in China. Sci. Tot. Environ. 2002; 284: 227–235.