

УДК 574/577:550.47(478.9)

**АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА
В КОМПОНЕНТАХ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
«ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЧЕЛОВЕК» В УСЛОВИЯХ МОЛДАВИИ**

М. В. Капитальчук¹, И. П. Капитальчук², Н. А. Голубкина³

¹ *Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко
Молдова, Приднестровье, 3300 MD, Тирасполь, 25 Октября, 128*

E-mail: imkapital@mail.ru

² *ГУ «РНИИ экологии и природных ресурсов»
Молдова, Приднестровье, 3200 MD, Бендеры, Каховский тупик, 2*

³ *ГУ НИИ питания РАМН*

Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14

E-mail: segolubkina@rambler.ru

Поступила в редакцию 01.01.10 г.

Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва – растения – человек» в условиях Молдавии. – Капитальчук М. В., Капитальчук И. П., Голубкина Н. А. – Впервые для территории Молдавии проведены системные исследования миграции и аккумуляции селена в компонентах экосистемы – воде, почве, растениях, организме человека. Подтверждено высокое содержание селена в природных водах. Установлено, что уровень содержания селена в почвах в основном соответствует условной области оптимума однако наблюдаются отдельные участки с маргинальной недостаточностью микроэлемента и даже случаи селенодефицита. Выявлены особенности биоаккумуляции селена сельскохозяйственными растениями. В целом население, проживающее в долине Днестра, отличается высоким содержанием селена в организме. Проведена оценка влияния биогеохимических факторов на селеновый статус населения.

Ключевые слова: селен, миграция, биоаккумуляция, биогеохимические факторы, вода, почва, растения, человек, сыворотка крови.

Selenium accumulation and migration in components of the biogeochemical soil – plants – man food chain in Moldova. – Kapitalchuk M. V., Kapitalchuk I. P., and Golubkina N. A. – Systematic studies of selenium accumulation and migration in components of the ecosystem (water, soils, plants, and human body) were made in Moldova for the first time. High selenium concentrations in natural waters are typical. In general, the selenium level in soils corresponds to the optimum, but several areas show a decreased selenium content, down to selenium deficiency. Peculiarities of selenium accumulation in agricultural plants were revealed. The Dniester valley residents possess a high selenium level in their bodies. The effect of biogeochemical factors on the human selenium status was evaluated.

Key words: selenium, migration, bioaccumulation, biogeochemical factor, water, soil, plant, human being, serum.

ВВЕДЕНИЕ

Среди биогенных элементов селен занимает особое место. С одной стороны, соединения селена очень ядовиты. Высокий уровень селена в крови человека может приводить к состоянию, называемому селенозом, который сопровождается деформацией ногтей, выпадением волос и ногтей, высыпаниями на коже головы (Yang et al., 1983).

При избыточном содержании в почве селен может быть токсичным и для растений, что может приводить не только к распространению эндемических болезней растений, но и к появлению морфологических изменений растений (Ковальский, Голлобов, 1969), вплоть до образования новых видов (Лебедев, 1988). Однако результаты изучения адсорбционной способности различных пищевых волокон все же подтверждают отсутствие эссенциальности селена для растений (Голубкина и др., 1998).

С другой стороны, дефицит селена в организме человека приводит к повышению риска сердечно-сосудистых, гастроэнтерологических, онкологических заболеваний, снижению противомикробной резистентности (Гмошинский, Мазо, 1999).

Не менее важен этот микроэлемент и для животных. Дефицит селена у домашних животных и птиц вызывает беломышечную болезнь. Кроме того, дефицит селена у животных может вызывать экссудативный диатез, атрофию поджелудочной железы, поражение сердца (Касумов, 1979).

Таким образом, селен является физиологически важным микроэлементом, незаменимым в питании человека и животных.

Источником селена в обычном питании человека являются различные продукты животного и растительного происхождения. Расчет содержания селена в основных компонентах диеты на территории бывшего СССР показал, что основным источником селена для жителей России, стран СНГ и Балтии являются зерновые (Голубкина, 2000).

До начала наших исследований (2004 г.) системное изучение селена на территории Молдавии не проводилось, однако имелись отдельные данные по содержанию микроэлемента в некоторых природных компонентах. Наиболее полно оказалось изученным содержание селена в водах Молдавии. Более того, С. Р. Крайнов с соавторами (1983) выделили Молдавскую гидрогеохимическую провинцию с повышенным содержанием селена в грунтовых и напорных водах. На высокое содержание селена в подземных водах Молдавии указывают и более ранние данные, полученные И. В. Зелениным (1972), а также А. И. Свеженцовым с соавторами (1976).

Содержание селена в породах Молдавии колеблется от 10 до 3300 мкг/кг (Морагу, 2002). Имеются данные по содержанию селена в некоторых почвообразующих породах (Кабата-Пендиас и Пендиас, 1989): элювий третичных песков – 50 – 80 мкг/кг; известняки – 30 – 100 мкг/кг; коренные третичные глины – 400 – 600 мкг/кг. По данным О. П. Богdevича с соавторами (Bogdevich et al., 2003), в четвертичных лессовых отложениях Молдавии содержание селена составило в среднем 56 мкг/кг.

Отсутствовали системные данные по содержанию селена в распространенных на территории Молдавии типах почв. Было известно только, что валовые формы селена составляют в почвах Молдавии 10 – 860 мкг/кг (Морагу, 2002). По данным работ О. П. Богdevича с соавторами (Bogdevich et al., 2002, 2003), содержание селена в почвах Днестровско-Прутского междуречья оказалось достаточно низким и составило в среднем 125 – 175 мкг/кг.

Данные по накоплению селена сельскохозяйственными растениями и по содержанию селена в организме жителей Молдавии отсутствовали. Имелись лишь общие оценочные данные по содержанию селена в пшеничной муке и сухом моло-

ке, потребляемых жителями Молдавии (Голубкина, 1997, 1998), и прогнозные данные по селеновому статусу населения Молдовы (Голубкина, 2000). Однако в этих оценках не было разделения местных и импортных продуктов питания.

Целью настоящей работы является обобщение результатов системных исследований селена, проведенных нами в 2004 – 2007 гг. на территории левобережного Приднестровья. Изучение селена на этой территории является особенно актуальным в связи с тем, что приведенные выше отдельные данные по содержанию селена в природных компонентах практически всецело относятся к Днестровско-Прутскому междуречью Молдавии, в то время как биогеохимические исследования микроэлемента в левобережных районах ранее не проводились.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследуемая территория более чем на 200 км протянулась по левому берегу р. Днестр и ограничена с севера, востока и юга границей Молдавии с Украиной. Несмотря на незначительные размеры территории (примерно 4000 км²), здесь сформировались различные природно-территориальные комплексы с пёстрым мозаичным почвенным покровом. На этой территории А. Ф. Урсу (1980) выделяет два почвенных района: район типичных и карбонатных чернозёмов лесостепи юго-западной окраины Волыно-Подольской возвышенности на севере и район обыкновенных и южных чернозёмов Южноприднестровской степной равнины на юге.

В течение 2004 – 2006 гг. на различных участках исследуемой территории системно были взяты пробы воды, почв и растений, а весной 2007 г. на станции переливания крови г. Тирасполя были отобраны 76 образцов сыворотки крови жителей, проживающих в изучаемом регионе.

Выбор места для закладки шурфа или почвенной ямы проводился с учетом рельефа местности, экспозиции, растительного покрова. Взятие почвенных образцов осуществлялось в соответствии с требованиями агрохимических методов исследования почв. Сбор растений проводился в местах отбора почвенных проб в соответствии со стандартными методиками (Ковальский, Гололобов, 1969).

Определение содержания селена в пробах воды и почвенных образцах проводилось в химической лаборатории Института геологии и сейсмологии АН Молдовы атомно-абсорбционным методом с помощью спектрофотометра AAnalyst800 фирмы Perkin Elmer с проточно-инжекционной системой FLAS-400. Методика подготовки проб и определения селена подробно изложена в работе О. П. Богдевич с соавторами (2005).

Содержание селена в образцах растений и сыворотке крови жителей определялось в лаборатории пищевой токсикологии Института питания РАМН (г. Москва) флуорометрическим методом (Alfhan, 1984) с использованием референс-стандартов: лифилизированной сыворотки крови 23-ЕКТ (Nirpan, Осло) и пшеничной муки (Сельскохозяйственный центр Финляндии) с регламентированным содержанием селена соответственно 79 и 89 мкг/кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным экологическим показателем территории является уровень содержания селена в грунтовых и поверхностных водах, так как он служит одним из кри-

териев биогеохимического прогноза экологического статуса селена различных ландшафтов (Ермаков, 1997).

В целом результаты наших исследований (Капитальчук, 2006 *а*; Тома и др., 2006 *а*; Капитальчук и др., 2007 *а, б*) подтверждают наличие Молдавской гидрогеохимической селеновой провинции. Так, на исследуемой территории содержание селена в поверхностных водах оказалось достаточно высоким и колеблется от менее 1 до 8.8 мкг/л. В водоёмах сельской местности оно составляет 1 – 3 мкг/л, при среднем значении 1.5 мкг/л. Концентрация микроэлемента в главной водной артерии региона р. Днестр не превышает 1 мкг/л. В условиях городской среды (г. Тирасполь) максимальные значения концентрации селена в поверхностных водах возрастают до 8.8 мкг/л при среднем значении 5.6 мкг/л.

Содержание селена в грунтовых водах примерно такое же, как и в поверхностных водах. В сельской местности грунтовые воды содержат в среднем 1.5 мкг/л при максимальном значении 3 мкг/л. В условиях городской среды средние значения концентрации микроэлемента в грунтовых водах возрастают до 4 мкг/л, а максимальные значения достигают 7.1 мкг/л. В межпластовых артезианских водах, взятых из скважин водозаборов г. Тирасполя и г. Бендеры, содержание селена оказалось менее 1 мкг/л. Для сравнения укажем, что в реках Европейской части России и Кавказа содержание селена колеблется в пределах от 0.2 до 0.5 мкг/л, а в речных водах Белоруссии – от 0.35 до 0.85 мкг/л (Сидельникова, 1999). Таким образом, природные воды на исследуемой территории отличаются высоким содержанием селена по сравнению с другими регионами, что может служить индикатором содержания в природных компонентах водорастворимых форм селена, являющихся доступными для усвоения и накопления растениями.

Основным фактором, определяющим аккумуляцию микроэлемента в растениях, является уровень и химическая форма этого элемента в почвах. К увеличению концентрации элементов приводит наличие геохимических барьеров, в которых происходит резкое уменьшение интенсивности их миграции. В Молдове наибольшее значение имеют карбонатный, щелочной и гумусовый геохимические барьеры. Важной особенностью почв на рассматриваемой территории является то, что они представлены главным образом средне- и малогумусными чернозёмами. Селен, являясь подвижным в слабокислых, нейтральных и щелочных условиях, становится практически неподвижным в кислых почвах (Глазовская, 1976). В связи с этим на исследуемой территории, где преобладают почвы с нейтральной и слабощелочной реакцией, селен должен быть достаточно подвижным и в форме истинных растворов перераспределяться по почвенному профилю и в других компонентах биогеоценоза.

В табл. 1 обобщены данные (Капитальчук, 2006 *б, в*; Тома и др., 2006 *б*; Капитальчук и др., 2007 *а*) по содержанию селена в почвенных образцах, собранных по основным ареалам почв исследуемой территории.

В целом для почв юго-западной окраины Волыно-Подольской возвышенности (без учета пойменных почв) среднее содержание селена составило 347 ± 85 мкг/кг. Для этого почвенного района, исходя из средней концентрации селена в рамках имеющейся выборки, почвы основных типов можно расположить в следующей

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА

последовательности: чернозём карбонатный (407) > чернозём типичный (320) > чернозём обыкновенный (315) > чернозём выщелоченный (275) > темно-серая лесная почва (230).

Таблица 1
Статистические данные по содержанию селена в различных типах почв Молдавии

Тип почвы	Кол-во образцов	Глубина взятия образца, см	Минимальное значение, мкг/кг	Максимальное значение, мкг/кг	Среднее значение, мкг/кг	Стандарт. отклонение, мкг/кг
Чернозём карбонатный	11	0–40	100	630	326	149
Чернозём обыкновенный	27	0–40	180	1930*	248	62
Чернозём типичный	2	0–40	300	340	320	–
Чернозём выщелоченный	4	0–40	230	290	275	60
Чернозём южный	3	0–40	140	230	183	45
Темно-серая лесная	2	0–40	230	230	230	–
Пойменная луговая и болотно-луговая слоистая	7	0–40	180	670	414	186
Перегойно-карбонатная скелетная	2	0–40	310	380	345	–
Для всех типов почв	58	0–40	100	1930*	286	96

* В расчет среднего не включено.

В почвах Южноприднестровской степной равнины в среднем содержание селена меньше и составляет 222 ± 65 мкг/кг. В геохимических условиях степной равнины последовательность основных почв, отражающая величину среднего содержания селена, выглядит несколько иначе, чем для лесостепи: чернозём обыкновенный (235) > чернозём карбонатный (185) > чернозём южный (183).

Для оценки уровня обеспеченности почвы селеном J. Тап с соавторами (2002) предлагают принять следующие пороговые значения концентрации микроэлемента: 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 этих пороговых значений можно констатировать, что для всех типов почв юго-западной окраины Волыно-Подольской возвышенности содержание селена соответствует условной области оптимума. При этом наблюдается тенденция к уменьшению количества микроэлемента в почве при переходе от наиболее сухих четвертичных террас с карбонатными чернозёмами к более увлажненным водораздельным пространствам, на которых располагаются выщелоченные чернозёмы и темно-серые лесные почвы. Наибольшее содержание селена в пойменной слоистой почве (см. табл. 1), видимо, обусловлено смывом почв, богатых микроэлементом, с надпойменных террас. Это предположение подкрепляется распределением концентрации селена на различных элементах рельефа долины Днестра у с. Грушка (рис. 1).

Здесь на террасах I, II, IX располагаются карбонатные чернозёмы, а на террасе X залегает типичный чернозём. На рис. 1 явно прослеживается уменьшение кон-

центрации селена по мере увеличения возраста и относительной высоты террас долины. Причем содержание селена в почве поймы (П) в два раза выше, чем на верхней террасе (Х) (Капитальчук, 2006 в).

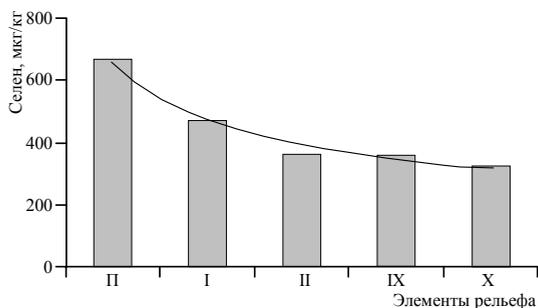


Рис. 1. Распределение средней концентрации селена на различных элементах рельефа у с. Грушка (Молдавия)

здесь наблюдаются концентрации микроэлемента, относящиеся к областям маргинальной недостаточности и даже селенодефицита.

В соседней Одесской области Украины содержание селена в почвах изменяется в интервале значений 165 – 690 мкг/кг при среднем содержании 350 мкг/кг (Щелкунов, Голубкина, 2000), что сопоставимо с концентрациями микроэлемента в почвах северной части изучаемой территории (347±85 мкг/кг).

Особый интерес представляют данные по накоплению селена местными сельскохозяйственными культурами, идущими на корм животным и входящими в продукты питания населения.

В табл. 2, 3 представлены полученные нами данные по накоплению селена некоторыми сельскохозяйственными растениями на разных типах почв в северной и южной частях изучаемой территории.

Основным фактором, определяющим аккумуляцию микроэлемента в растениях, является концентрация и химическая форма этого элемента в почвах. Поэтому в представленных таблицах указано также валовое содержание селена в почвенном слое 0 – 40 см в местах сбора растений. Однако содержание валовых форм селена в почвах дает лишь ориентировочное представление об обеспеченности почв микроэлементом, так как растения могут использовать только ту его часть, которая находится в физиологически доступных подвижных формах. Представление о количестве биодоступных форм селена в почве дает приведенный в табл. 2, 3 коэффициент биологического накопления (КБН), равный отношению количества селена в растении к его общему содержанию в почве.

Выше уже указывалось на различие в содержании селена в почвах лесостепного и степного районов изучаемой территории. Из анализа представленных в табл. 2, 3 данных следует, что эти различия присутствуют и при рассмотрении выборок в местах взятия образцов растений. Так, среднее содержание селена в почвах северной лесостепной части территории в местах сбора растений составляет 307±39 мкг/кг,

В условиях практически одинакового увлажнения территории Южноприднестровской равнины наиболее бедными селеном оказываются карбонатные и южные чернозёмы. А уровень обеспеченности селеном для всех типов почв на территории этого района, хотя в среднем и соответствует условной области оптимума, но гораздо ниже, чем в лесостепном районе. Более того, на некоторых участках территории с карбонатными и южными чернозёмами

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА

в то время как в южной степной части территории средняя концентрация микроэлемента в пахотном слое понижается до 224 ± 57 мкг/кг.

Таблица 2

Накопление селена сельскохозяйственными растениями
в условиях лесостепи юго-западных отрогов Вольно-Подольской возвышенности

Наименование растений	Тип почвы	Кол-во проб	Se в почве (0–40 см), мкг/кг	Se в растениях, мкг/кг	Коэффициент биологического накопления
Подсолнечник (надземная часть)	Чернозём типичный	1	320	143	0.447
	Чернозём обыкновенный	2	315 ± 35	111 ± 8	0.353 ± 0.013
	Все типы	3	317 ± 25	122 ± 19	0.384 ± 0.055
Кукуруза (надземная часть)	Чернозём типичный	1	320	90	0.281
	Чернозём обыкновенный	1	340	89	0.261
	Чернозём карбонатный	1	355	90	0.254
	Чернозём выщелоченный	1	236	86	0.364
	Темно-серая лесная	1	232	91	0.392
	Все типы	5	297 ± 58	89 ± 2	0.310 ± 0.063
Ячмень (надземная часть)	Чернозём типичный	1	320	107	0.334
Ячмень (зерно)	То же	1	320	157	0.491
Пшеница (надземная часть)	Чернозём обыкновенный	2	315 ± 35	114 ± 9	0.364 ± 0.011
	Чернозём карбонатный	1	355	80	0.225
	Чернозём выщелоченный	1	265	111	0.419
	Все типы	4	312 ± 42	105 ± 18	0.343 ± 0.083
Пшеница (зерно)	Чернозём обыкновенный	2	315 ± 35	130 ± 19	0.410 ± 0.014
	Чернозём карбонатный	1	355	107	0.301
	Чернозём выщелоченный	1	265	78	0.294
	Все типы	4	312 ± 42	111 ± 27	0.354 ± 0.065
Люцерна	Чернозём выщелоченный	1	265	166	0.626
Все растения	Все типы	19	307 ± 39	111 ± 26	0.365 ± 0.094

В отличие от этого среднее содержание селена в растениях, произрастающих в лесостепном и степном районах, очень близко и составляет 111 ± 26 и 112 ± 19 мкг/кг соответственно. В среднем, как следует из табл. 2, 3, растения накапливают селена более чем в два раза меньше от его общего содержания в почве. При этом не наблюдается корреляции между содержанием общего селена в почвах и его концентрацией в растениях.

Близость значений средней концентрации селена в растениях в северной и южной частях территории указывают на то, что относительная стабильность среднего содержания микроэлемента в растениях обеспечивается различной интенсивностью его биоаккумуляции в разных геохимических условиях. Действительно, из табл. 2, 3 следует, что среднее значение КБН, равное 0.365 ± 0.095 для относительно богатых селеном почв лесостепи, увеличивается до 0.536 ± 0.166 для более бедных селеном степных почв. Увеличение биоаккумуляции микроэлемента в данном случае может быть объяснено возрастанием подвижных форм селена.

При прочих равных условиях биогенная аккумуляция селена должна зависеть от вида растения. Наиболее широкий спектр растений представлен для южного степного района (см. табл. 3). Здесь по способности накапливать селен в надземной части (мкг/кг) растения можно расположить в следующей последовательно-

сти: сорго (147) > подсолнечник (125) > кукуруза (117) > клевер (111) > люцерна (110) > овёс(107) > ячмень (106) = пшеница (106).

Таблица 3

Накопление селена сельскохозяйственными растениями
в условиях Южноприднестровской степной равнины

Наименование растений	Тип почвы	Кол-во проб	Se в почве (0–40 см), мкг/кг	Se в растениях, мкг/кг	Коэффициент биологического накопления
Подсолнечник (надземная часть)	Чернозём обыкновенный	7	228±44	133±30	0.611±0.219
	Чернозём карбонатный	2	185±120	108±5	0.725±0.445
	Чернозём южный	1	182	107	0.588
	Все типы	10	215±58	125±27	0.631±0.238
Кукуруза (надземная часть)	Чернозём обыкновенный	3	276±48	97±11	0.359±0.067
	Чернозём карбонатный	2	185±120	118±15	0.772±0.421
	Пойменная луговая слоистая	1	320	119	0.372
	Пойменная лугово-болотная	1	184	97	0.527
	Все типы	7	243±80	117±24	0.503±0.262
Ячмень (надземная часть)	Чернозём обыкновенный	4	212±41	111±7	0.536±0.105
	Чернозём карбонатный	1	270	102	0.378
	Пойменная лугово-болотная	1	184	112	0.609
	Чернозём южный	2	201±36	94±4	0.473±0.062
	Все типы	8	213±39	106±9	0.510±0.099
Ячмень (зерно)	Чернозём обыкновенный	4	212±41	108±6	0.523±0.082
	Чернозём карбонатный	1	270	94	0.348
	Пойменная лугово-болотная	1	184	115	0.625
	Чернозём южный	2	201±36	102±14	0.520±0.165
	Все типы	8	213±39	106±9	0.513±0.112
Пшеница (надземная часть)	Чернозем обыкновенный	1	202	106	0.524
Пшеница (зерно)	То же	1	202	86	0.426
Люцерна	«	2	295±28	110±6	0.372±0.014
Клевер	«	1	256	111	0.434
Сорго	Пойменная луговая слоистая	1	329	147	0.447
Овёс (надземная часть)	Чернозём обыкновенный	3	193±12	107±13	0.563±0.048
Овёс (зерно)	То же	3	193±12	123±24	0.636±0.118
Все растения	Все типы	45	224±57	112±19	0.536±0.166

Анализируя данную последовательность, можно отметить, что близкими по способности аккумулировать селен являются клевер и люцерна, а также зерновые культуры – овёс, ячмень и пшеница. Следует также подчеркнуть, что в рамках рассматриваемых выборок содержание селена в зерне и надземной части растений овса, ячменя и пшеницы (см. табл. 2, 3) в среднем практически не отличается.

Влияние геохимических условий на биоаккумуляцию селена растениями удобно рассматривать на примере отдельных культур. В этом случае способность отдельного вида растений к накоплению селена остается постоянной, а условия произрастания изменяются.

Анализ полученных нами данных показал, что содержание селена в надземной части подсолнечника зависит от типа почвы и уменьшается при переходе от чернозёма типичного к обыкновенному, а затем к карбонатному и южному.

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА

Способность кукурузы накапливать селен оказалась малочувствительной к изменению типа почвы в северной части изучаемой территории, где содержание микроэлемента в кукурузе близко к 90 мкг/кг. Однако в геохимических условиях степного района интенсивность накопления селена кукурузой возрастает, достигая 119 мкг/кг.

Диапазон колебаний среднего содержания селена в зерновых культурах для разных типов почв колеблется от 80 до 114 мкг/кг, что составляет примерно 30% от общего среднего значения. Однако явной закономерности изменения биоаккумуляции селена от типа почв для зерновых культур не проявляется. Хотя для южной степной зоны наблюдается уменьшение содержания селена в зерновых культурах при переходе от чернозёма обыкновенного к карбонатному и южному.

В значительной мере накопление микроэлемента растениями может снижать присутствие в почвах элементов-антагонистов, которыми для селена являются сера, фосфор, кадмий, медь, марганец и цинк (Кирилюк, 2006). Для изучаемой территории были выполнены оценки по влиянию концентрации меди в почве на биоаккумуляцию селена кукурузой и подсолнечником (Капитальчук и др., 2007). Для рассматриваемых геохимических условий антагонизм меди и селена не проявился. Более того, на фоне низких концентраций меди в почве (менее 30 мг/кг) коэффициент парной корреляции между количеством меди в почве и селеном в кукурузе оказался положительным и составил $+0.6377$ (при $P \leq 0.05$). Для подсолнечника в рассматриваемом диапазоне значений взаимосвязи между количеством меди в почве и селеном в растениях не обнаружено.

Оптимальная обеспеченность организма человека селеном наступает, когда его концентрация в сыворотке крови достигает 120 мкг/л (National Research Council., 1989), что соответствует максимальной активности глутатионпероксидазы тромбоцитов (Levander et al., 1983). При снижении уровня содержания микроэлемента в сыворотке крови менее 50 мкг/л организм испытывает глубокий дефицит селена.

Данные по содержанию селена в сыворотке крови различных возрастных групп населения, проживающего на рассматриваемой территории, представлены в табл. 4. В среднем оптимальный уровень обеспеченности селеном наблюдается для всех рассматриваемых в табл. 4 возрастных групп. При этом в межгрупповых различиях селенового статуса не прослеживается каких-либо закономерностей, обусловленных возрастной физиологической компонентой. Диапазон значений концентрации селена в сыворотке крови жителей долины Днестра довольно широк и составляет 76 – 254 мкг/л. Крайние низкие значения этого диапазона не относятся к случаям глубокого селенодефицита, хотя и характеризуют наличие маргинальной недостаточности селена у части населения. Среднее содержание селена в сыворотке крови составляет 145.8 мкг/л, что значительно превышает нижнюю границу оптимума. Для сравнения укажем, что интервал концентраций селена в сыворотке крови жителей соседней Одесской области Украины составляет 66 – 644 мкг/л при средней обеспеченности населения микроэлементом 122 ± 15 мкг/л (Щелкунов, Голубкина, 2000).

Таблица 4

Содержание селена в сыворотке крови различных возрастных групп населения Молдавии, мкг/л

Возраст, лет	20–30	31–40	41–50	51–60	> 60	Для всех возрастов
Мужчины						
Количество образцов	4	3	5	7	7	26
Диапазон значений	102–132	123–246	84–219	104–174	76–254	76–254
Среднее значение	116.0	169.33	144.80	131.57	158.57	143.35
Стандартное отклонение	±12.54	±66.88	±65.12	±22.81	±57.60	±43.82
Доверительный интервал для среднего значения ($P = 0.1$)	105.6–126.3	105.8–232.8	96.9–192.7	117.3–145.7	122.7–194.3	129.2–157.4
Женщины						
Количество образцов	12	8	15	10	5	50
Диапазон значений	100–245	100–213	81–254	106–230	97–149	81–254
Среднее значение	151.33	128.88	150.20	164.90	114.80	146.46
Стандартное отклонение	±44.43	±36.44	±50.89	±35.13	±20.40	±41.03
Доверительный интервал для среднего значения ($P = 0.1$)	130.2–172.4	107.6–150.0	128.5–171.8	146.6–183.1	99.7–129.8	136.9–156.0
Мужчины + женщины						
Количество образцов	16	11	20	17	12	76
Диапазон значений	100–245	100–246	81–254	104–230	76–254	76–254
Среднее значение	142.50	139.91	148.85	151.18	140.33	145.80
Стандартное отклонение	±41.58	±46.70	±52.98	±34.28	±49.69	±44.97
Доверительный интервал для среднего значения ($P = 0.1$)	125.4–159.6	116.7–163.0	129.3–168.3	137.5–164.8	116.7–163.9	137.4–154.2

Особенность распределения уровня обеспеченности селеном среди населения Приднестровья (рис. 2) состоит в том, что относительный дефицит селена испытывает 12% населения исследуемой территории, у 25% жителей концентрация селена в крови близка к оптимальной, а 63% населения имеет оптимальный уровень обеспеченности селеном со значительным превышением нижней границы области оптимальности.

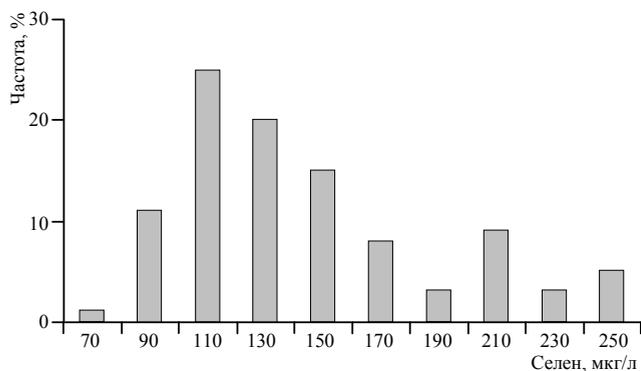


Рис. 2. Распределения концентрации селена в сыворотке крови населения Молдавии

Анализ имеющихся данных показал, что характер распределения концентрации селена в сыворотке крови городских жителей отличается от соответствующего распределения для сельского населения. Так, по сравнению с общей выборкой, доля населения, испытывающего относительный дефицит селена (менее 100 мкг/л), в сельской местности со-

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА

кращается с 12 до 8%, а доля населения с оптимальной обеспеченностью микроэлементом увеличивается на 7%. В городах доля жителей с относительным дефицитом селена возрастает по сравнению с сельской местностью на 10%, а число городских жителей с превышением порога оптимальной обеспеченности селеном уменьшается до 53%.

Особый интерес представляет оценка влияния биогеохимических факторов на селеновый статус населения, так как выявление формы этой взаимосвязи позволяет по известным биогеохимическим параметрам конкретной территории прогнозировать уровень обеспеченности селеном проживающих на ней людей.

При проведении такой оценки для отдельных почвенных ареалов мы использовали в качестве геохимического показателя среднее валовое содержание селена в почве, а в качестве биохимического фактора – значение концентрации микроэлемента в сельскохозяйственных растениях.

Результаты оценки показали, что биогеохимические условия территории оказывают значимое влияние на селеновый статус населения. Наименьшая корреляция наблюдается между средним уровнем концентрации селена в сыворотке крови жителей и средним валовым содержанием селена в почве ($r = +0.606$; $P = 0.05$). Наилучшим образом характеризует уровень обеспеченности селеном интегральный биохимический показатель, отражающий среднее содержание селена в сельскохозяйственных растениях на изучаемой территории ($r = +0.950$; $P = 0.0025$). Приемлемым показателем для оценки уровня обеспеченности селеном населения является также среднее содержание микроэлемента в зерне пшеницы и ячменя ($r = +0.735$; $P = 0.1$).

ВЫВОДЫ

На рассматриваемой части территории Молдавии природные воды отличаются высоким содержанием селена, что может служить индикатором наличия в породах и почвах значительной доли биодоступных форм селена.

Содержание селена в почвах изучаемой территории в среднем соответствует условной области оптимума. При этом количество селена в почвах юго-западной окраины Вольно-Подольской возвышенности выше, чем в одноименных почвах Южноприднестровской степной равнины, где наблюдаются отдельные участки с маргинальной недостаточностью микроэлемента и даже случаи селенодефицита.

Содержание селена в сельскохозяйственных культурах изменяется в широких пределах от 78 до 166 мкг/кг в зависимости от конкретных геохимических условий, однако взаимосвязи между содержанием валовых форм селена в почвах и его аккумуляцией растениями не обнаружено.

В надземной части растений наблюдается уменьшение биоаккумуляции селена при переходе от люцерны к подсолнечнику и затем к ячменю, пшенице и кукурузе. На фоне низких концентраций меди установлена положительная корреляция между количеством меди в почве и содержанием селена в кукурузе.

В целом население, проживающее в Приднестровском регионе Молдавии, отличается высоким уровнем обеспеченности селеном. При этом характер распределения концентрации селена в сыворотке крови городских жителей существенно

отличается от соответствующего распределения для сельского населения. На селективный статус населения существенное влияние оказывают биогеохимические факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богдевич О. П., Измайлова Д. Н., Капитальчук М. В., Тома С. И. Оценка содержания селена в почвах Молдовы // *Bul. Institutului de Geofizica și geologie al A.S.M.* 2005. № 1. С. 83 – 87.

Глазовская М. А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // *Биогеохимические циклы в биосфере.* М. : Наука, 1976. С. 99 – 115.

Гмошинский И. В., Мазо В. К. Селен в питании : краткий обзор // *Medicina Altera.* 1999. № 4. С. 18 – 22.

Голубкина Н. А. Содержание Se в пшеничной и ржаной муке России, стран СНГ и Балтии // *Вопр. питания.* 1997. № 3. С. 17 – 20.

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. С. 94 – 101.

Голубкина Н. А. Прогнозирование уровня обеспеченности селеном населения России и Украины по содержанию микроэлемента в зерне пшеницы // *Экология моря.* 2000. Вып. 54. С. 57 – 61.

Голубкина Н. А., Щелкунов Л. Ф., Гинс В. К. Адсорбция селена пищевыми волокнами // *Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья.* 1998. № 6. С. 34 – 35.

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

Ермаков В. В. Биогеохимия селена. Региональные и экологические аспекты // *Тез. Междунар. симп. по прикладной геохимии стран СНГ / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.* М., 1997. С. 289.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 440 с.

Капитальчук М. В. Содержание селена в компонентах ландшафтов левобережного Приднестровья. // *Регіон-2006 : стратегія оптимального розвитку : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. Харків : Вид. центр Харк. нац. ун-ту, 2006 а.* С. 211 – 214.

Капитальчук М. В. Содержание селена в почвах Южноприднестровской степной равнины // *Степи Северной Евразии : материалы IV Междунар. симп. Оренбург : ИПК «Газпромнефть», 2006 б.* С. 339 – 341.

Капитальчук М. В. Содержание селена в почве на различных элементах рельефа долины Днестра // *Bul. Institutului de geologie și seismologie al A.S.M.* 2006 в. № 2. С. 82 – 88.

Капитальчук М. В., Капитальчук И. П., Голубкина Н. А. Геохимические условия миграции и накопления селена в геосистемах Молдавии // *Магілєўскі мерыдыян.* 2007 а. Т. 7, вып. 1 – 2 (8 – 9). С. 30 – 33.

Капитальчук М. В., Капитальчук И. П., Голубкина Н. А. Биогеохимия селена в Молдове // *Bul. of the Institute of geology and seismology MAS.* 2007 б. № 1. P. 10 – 15.

Капитальчук И. П., Капитальчук М. В., Голубкина Н. А. Накопление селена зерновыми культурами в различных геохимических условиях долины Днестра // *Вестн. Приднестр. ун-та.* 2007 в. № 2. С. 176 – 181.

Капитальчук М., Голубкина Н., Капитальчук И., Шульман А., Ангелюк М. Влияние ме-ди на аккумуляцию селена кукурузой и подсолнечником // *Studia Universitatis : seria ‘Științe ale Naturii. Revistă științifică a Universitatea de Stat din Moldova.* 2007. № 7. P. 114 – 118.

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ СЕЛЕНА

- Касумов С. Н.* Биологическое значение селена для жвачных животных / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исследований по сельскому хозяйству. М., 1979. 49 с.
- Кирилюк В. П.* Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. Chisinau : Pontos, 2006. 156 р.
- 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., Еникеев Н. И., Прибыткова С. М.* Геохимия селена в подземных водах // Геохимия. 1983. № 3. С. 359 – 374
- Лебедев С. И.* Физиология растений. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1988. 544 с.
- Свеженцов А. И., Тома С. И., Петраков Е. В., Скрипник М. Д., Вайнберг Н. Г., Мельник И. Г.* Содержание микроэлементов в кормах и водоемностях МССР. Кишинев : Карта Молдовеняскэ, 1976. 80 с.
- Сидельникова В. Д.* Геохимия селена в биосфере // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. М. : Наука, 1999. С. 81 – 99.
- Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И.* Содержание селена в некоторых природных компонентах на территории Республики Молдова // Analele științifice ale USM. Seria «Științe chimico-biologice». 2006 а. Р. 348 – 352.
- Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И.* Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра // Știința agricolă. 2006 б. № 1. Р. 11 – 16.
- Урсу А. Ф.* Почвенно-экологическое микрорайонирование Молдавии. Кишинев : Штиинца, 1980. 208 с.
- Щелкунов Л. Ф., Голубкина Н. А.* Содержание селена в почвах, растениях и у человека в Одесской области // Экология моря. 2000. Вып. 54. С. 62 – 68.
- Alfthan G.* A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta. 1984. Vol. 165. P. 187 – 194.
- Bogdevich O., Hannigan R. E., Moraru C., Izmailova D.* The investigation of selenium in the environment // Ecological chemistry : Abstract book of the second Intern. conference. Chisinau, 2002. P. 168.
- Bogdevich O. P., Hannigan R. E., Izmailova D. N.* Assessment of natural and artificial sources of selenium in the environment of Moldova republic // Proc. 6th International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States. Prague, 2003. P. 81.
- Levander O., Alfthan G., Arvilommi H., Gaef C. G., Huttunen J. K., Kataja M., Kovistionen P., Pikkarainen J.* Bioavailability of selenium to Finnish men as assessed by platelet glutathione peroxidase activity and other blood parameters // Amer. J. Clin. Nutr. 1983. Vol. 37. P. 887 – 897.
- Moraru C.* Selenium in groundwater and surrounding media of the Republic of Moldova : country overview // Ecological chemistry : Abstract book of the second Intern. conference. Chisinau, 2002. P. 54.
- National Research Council. Recommended Dietary Allowances. Washington : National Academy press, 1989. 302 p.
- 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. Vol. 284. P. 227 – 235.
- Yang G. Q., Wang S., Zhou R., Sun S.* Endemic selenium intoxication of human in China // Amer. J. Clin. Nutr. 1983. Vol. 37. P. 872 – 881.