

УДК 574.4

AGRI P33

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/13>*Боев В.А., Синдирева А.В., Боев В.В., Бурмистрова А.С.***СЕЛЕН В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТАГАНАЙ»  
И ТЮМЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАКАЗНИКА***Boev V.A., Sindireva A.V., Boev V.V., Burmistrova A.S.***SELENIUM IN THE SOILS OF THE TAGANAY NATIONAL PARK  
AND THE TYUMEN STATE RESERVE**

**Аннотация.** Селен является важнейшим микроэлементом в организме растений, животных и человека. В связи с этим важное теоретическое и практическое значение имеет изучение селена в почвах и растительности незатронутых антропогенным воздействием территорий, каковыми являются особо охраняемые природные территории (ООПТ). В качестве районов исследования нами были выбраны Тюменский государственный заказник и Национальный парк «Таганай». На данных территориях изучено валовое содержание селена в верхнем горизонте почв (0-20 см.). Анализ содержания селена в растениях проводился в Национальном парке «Таганай» по трём наиболее распространенным на территории исследования видам растений травянистого яруса – ве́йник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.). Растения были отобраны на тех же участках, что и пробы почв. Содержание селена в почве и растениях определяли в филиале ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с помощью спектрометра «Varian 720 – ES». Несмотря на значительные биогеохимические отличия исследуемых ООПТ, содержание селена в почвах изученных территорий существенно не отличается и составляет от 0,01 до 0,09 мг/кг, при средних значениях  $0,05 \pm 0,02$  и  $0,062 \pm 0,02$  мг/кг соответственно в почвах Национального парка «Таганай» и Тюменского государственного заказника. Исследуемые почвы ООПТ являются селенодефицитными. Это, возможно, является одной из причин недостатка селена в системе почва–растение. Валовое содержание селена имеет выраженную взаимосвязь с содержанием гумуса в почвах Тюменского государственного заказника и с уровнем кислотности в почвах Национального парка «Таганай». Содержание селена в травянистых растениях Национального парка «Таганай» колеблется в незначительных пределах и достоверно не различается, как по видовому составу, так и от приуроченности к функциональным зонам. Обобщенное содержание селена в растениях находится на нижней границе обеспеченности (0,051-0,054 мг/кг сухого вещества). Согласно рассчитанному коэффициенту поглощения данные растения по накоплению селена относятся к группам слабого захвата. Низкое содержание селена в исследуемых растениях Национального парка

**Abstract.** Selenium is the most important trace element in the body of plants, animals and humans. In this regard, the study of selenium in soils and vegetation of territories unaffected by anthropogenic impact, which are specially protected natural territories (protected areas), is of great theoretical and practical importance. The Tyumen State Nature Reserve and the Taganay National Park were chosen as the study areas. In these territories, the gross content of selenium in the upper horizon of soils (0-20 cm) was studied. The analysis of selenium content in plants was carried out in the Taganay National Park for the three most common plant species of the herbaceous tier in the study area – cane vine (*Calamagrostis arundinacea*), common sour (*Oxalis acetosella* L.), common blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.). The plants were selected at the same sites as the soil samples. The selenium content in soil and plants was determined in the branch of FSBI “TsLATI in the Ufa region” in the Tyumen region by inductively coupled plasma spectrometry using a Varian 720 – ES spectrometer. Despite the significant biogeochemical differences of the studied protected areas, the selenium content in the soils of the studied territories does not differ significantly and ranges from 0.01 to 0.09 mg/kg, with average values of  $0.05 \pm 0.02$  and  $0.062 \pm 0.02$  mg/kg, respectively, in the soils of the Taganay National Park and the Tyumen State Reserve. The studied soils of protected areas are selenium-deficient. This may be one of the reasons for the lack of selenium in the soil–plant system. The total content of selenium has a pronounced relationship with the humus content in the soils of the Tyumen State Reserve and with the level of acidity in the soils of the Taganay National Park. The selenium content in the most common herbaceous plants of the Taganay National Park varies within insignificant limits and does not differ significantly, both in species composition and in relation to functional zones. The generalized selenium content in plants is at the lower limit of availability (0.051-0.054 mg/kg of dry matter). According to the calculated absorption coefficient, these plants for the accumulation of selenium belong to groups of weak

«Таганай» связано с дефицитом этого валового содержания элемента в почвах и, по-видимому, с невысоким содержанием его водорастворимых форм.

**Ключевые слова:** селен, почвы, pH почвенного раствора, содержание органического углерода, Тюменский государственный заказник, Национальный парк «Таганай»

**Сведения о авторах:** Боев Виктор Александрович, канд. биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, vikboev2009@mail.ru; Синдирева Анна Владимировна, д-р. биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, sindireva72@mail.ru; Боев Владислав Викторович, канд. биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, v-3@mail.ru; Бурмистрова Алена, аспирант, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, alena.burmistrova95@mail.ru

capture. The low content of selenium in the studied plants of the Taganay National Park is associated with a shortage of this gross content of the element in soils and, apparently, with a low content of its water-soluble forms.

**Keywords:** selenium, soils, pH of soil solution, organic carbon content, Tyumen State Nature Reserve, Taganay National Park

**About the authors:** Boyev Viktor Alexandrovich, Ph.D., Tyumen State University, Tyumen, Russia, vikboev2009@mail.ru; Sindireva Anna Vladimirovna, Dr. habil., Tyumen State University, Tyumen, Russia, sindireva72@mail.ru; Vladislav Viktorovich Boev, Ph.D., Tyumen State University, Tyumen, Russia, v-3@mail.ru; Alyona Sergeevna Burmistrova, Tyumen State University, Tyumen, Russia, alena.burmistrova95@mail.ru

Боев В.А., Синдирева А.В., Боев В.В., Бурмистрова А.С. Селен в почвах национального парка «Таганай» и Тюменского государственного заказника // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2022. № 1(57). С. 117–127. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/13>

Boev, V.A., Sindireva, A.V., Boev, V.V. & Burmistrova, A.S. (2022). Selenium in the Soils of the Taganay National Park and the Tyumen State Reserve. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1(57)), 117–127. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/13>

**Введение.** Селен является элементом, необходимым животным и человеку, в организме которых он присутствует в составе белков, аминокислот, окислительно-восстановительных ферментах и участвует во многих биохимических процессах [4; 7; 10; 12; 17].

Выявлены проявления дефицита селена в организме животных, которые выражаются такими заболеваниями как экссудативный диатез домашней птицы, беломышечная болезнь крупного рогатого скота. Следует отметить, что возникновение этих заболеваний становится возможным при концентрации селена в почвах в пределах 0,05–0,1 мг/кг [1]. Обычно содержание селена в почвах фоновых территорий невелико, его среднее содержание в почвах земного шара составляет 0,40 мг/кг [12].

В растениях селен представлен селеносодержащими аминокислотами, а также продуктами метилирования селена, кроме того он замещает серу в аминокислотах в ряде биохимических процессов. Селен является одним из важнейших микроэлементов в организме человека. Он имеет большое значение для функционирования иммунной и антиоксидантной систем. Недостаточное количество селена в рационе человека способствует возникновению болезни Кешана (кардиомиопатии), изменению трубчатых костей (болезнь Кешана-Бека). Также проявлением недостатка микроэлемента является некроз печени, поражение кишечника и поджелудочной железы, катаракта, болезни кожи и волос. Однако высокие дозы селена являются канцерогенными для организма человека, вызывают структурные и метаболические изменения в органах и тканях животных, способствуют развитию нежелательных мутаций и окислительного стресса в организме [5; 9; 12].

В настоящее время в ряде стран проводятся масштабные исследования с целью изучения содержания и действия селена в системе почва – растение – животное (человек) [1; 7; 10; 12; 17; 22]. Одним из приоритетных направлений исследований является установление критических и

оптимальных концентраций микроэлемента в объектах окружающей среды с целью коррекции селенозов [7; 1; 17; 19]. Однако антропогенное воздействие на почвы может существенно изменить селеновый статус территории [22-26]. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования на фоновых участках, в частности, на особо охраняемых природных территориях. В данных условиях антропогенное воздействие минимально, это дает возможность использовать полученные данные в качестве регионального фона при проведении мониторинга или в качестве фонового содержания микроэлементов, в частности, селена, при экологическом нормировании. Возможно также использование полученных данных при выявлении факторов, определяющих концентрацию селена в почвах с учетом конкретных экологических условий.

*Целью настоящего исследования* является оценка содержания селена в системе почва-растение и выявление связи с факторами, определяющими его содержание, на примере особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

**Экспериментальная часть.** Приведенные в публикации результаты являются частью исследований, проводимых в рамках гранта РФФИ «Методология использования интегрального подхода к нормированию действия микроэлементов в системе почва-растение-животное для разработки научно-обоснованной профилактики микроэлементозов в регионах России и Монголии» и изучения биологического круговорота макро- и микроэлементов в биоценозах лесов подтаежной зоны [5; 19].

Исследования по оценке содержания селена проводились в двух различных по физико-географической характеристике и экологическим условиям ООПТ – Тюменского государственного заказника и Национального парка «Таганай». Тюменский государственный заказник расположен в пределах Нижнетавдинского района Тюменской области, в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского, озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения рек Тавды и Туры. Территория федерального заказника представлена пологоволнистой равниной, постепенно понижающейся в южном направлении, с абсолютной высотой в пределах от 60 до 100 м. Поверхность равнины значительно заозерена и заболочена [5; 21].

Господствующими ландшафтами являются пологоволнистые равнины с сосново-березовыми и березовыми парковыми травяными лесами на дерново-подзолистых многогумусных почвах правобережья Тавды и достаточно дренированные высокие междуречные равнины. Площадь заказника 54025 га (лесопокрытые – 30000 га, водный фонд – 18845 га). Наибольшую площадь в заказнике занимают леса (46,1 %), а также различные типы болот и водоемы (40,8%). На открытые и суходольные пространства, включающие в себя возделываемые человеком хлебные кормовые поля, а также естественные разнотравные луга, приходится всего 10,2% его общей площади (табл. 1). Национальный парк «Таганай» расположен в западной части Челябинской области, в 130 км от областного центра и примыкает к границе Европы с Азией. Территория ООПТ охватывает северную часть средневысотных горных хребтов Южного Урала, которая представляет собой обособленный горный узел, с трех сторон переходящий в плоскогорья и далее в равнинную лесостепь.

Территория парка представляет собой систему среднегорных хребтов меридиональной ориентации. Самым западным из них является Назминский хребет (высота до 884 м) с его северным продолжением – хребтом Долгий мыс (средние высоты около 600 м). Центральную часть национального парка занимает Таганайский горный массив. Территория расположения Национального парка «Таганай» находится в подзоне южной тайги. Основную часть

растительности в парке представляют темнохвойные леса, охватывающие весь Уральский хребет [21]. Наиболее распространены на территории парка разновидности горных почв: горно-тундровые и горно-луговые почвы, горные дерново-подзолистые и горные серые лесные почвы. Остроконечные вершины гор на Тагане почти всегда окружены кольцом крупноглыбовых каменных осыпей. В подгольцовом поясе встречаются дерново-луговые почвы, которые характеризуются относительно большой мощностью (40-50 см), рыхло задерненной поверхностью. Дерновые горно-лесные почвы низкорослых лесов по механическому составу глинистые и суглинистые и имеют очень однообразный профиль коричнево-бурой окраски.

Таблица 1

**Распределение элементов ландшафта  
на территории Тюменского федерального заказника [5]**

Наименование элементов ландшафта	Площадь, га	% к общ. площади
Вторичные высокоствольные лиственные с преобладанием березы и осины	18330	34,3
Сложные сосняки с примесью других хвойных и лиственных пород	6030	11,4
Темнохвойная тайга с преобладанием ели и пихты	1280	2,4
Разнотравные луга	1540	2,9
Хлебные поля и посевы силосных культур	3940	7,3
Ромовые и кустарниково-травяные болота	18030	33,7
Озера, реки	3885	7,1
Населенные пункты, грунтовые дороги	530	0,9
Итого общая площадь госзаказника	53,385	100

Объектами исследования являлись горные серые лесные почвы. Горные серые лесные почвы распространены под лесами горно-лесного пояса, также, на заболоченных участках с ними сочетаются болотные торфяно-глебовые почвы. Прослеживается четкое разделение на горизонты. Отличаются высоким содержанием гумуса и количеством обменных катионов. Такая закономерность определяется гранулометрическим составом слагающих горизонтов. По механическому составу и кислотности слабо отличаются от дерновых горных-лесных почв. Наличие в почвенном профиле богатого гумусом горизонта определяется в основном характерным для данного вида почв разнотравием, которое в основном представлено древесными сообществами высоких бонитетов – это, преимущественно темно- и светлохвойные, а также берёзовые леса, и хорошо развитым травянистым покровом. Отличаются данные почвы более ясным разделением по горизонтам. Валовое химическое содержание макроэлементного состава, также как и у горных дерново-подзолистых почв отличается большим содержанием кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ) [4].

Отбор почвенных проб в Тюменском государственном заказнике проводился на трех учетных площадках площадью по 0,25 га, которые используются в исследованиях по изучению биологического круговорота макро- и микроэлементов в системе почва-растение. Места для учетных площадок были выбраны на территории покрытой вторичными высокоствольными лиственными лесами с преобладанием березы и липы и сложными сосняками с примесью хвойных и лиственных пород, наиболее широко представленными на территории заказника (табл. 1). Площадка 3 представлена березово-сосновым с липой лесом, площадка 1 – папоротниковым сосняком с примесью березы, площадка 2 – липово-березовым лесом. Почвенный покров на всех трех учетных площадках представлен дерново-подзолистыми почвами, растительность отличалась видовым составом растений – эдификаторов. Древесные породы – эдификаторы представлены следующими видами: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза повислая (*Betula pendula*

Roth.), осина обыкновенная (*Pópulus trémula* L.), липа мелколистная (*Tília cordáta*, L.). На площадке 1 доминируют сосны, на площадке 2 – липы, на площадке 3 – березы и сосны.

Отбор почв проводился на основе методов изучения почв и лесных сообществ [2].

На каждой из трех учетных площадок отобраны по несколько проб почв: учетная площадка 1 – пробы № 1-3; учетная площадка 2 – пробы № 5-7, 9, 10; учетная площадка 3 – пробы № 3, 8.

Отбор проб почв на территории Национального парка «Таганай» проводился в соответствии с установленными в исследованиях [6] функциональными зонами согласно заложенным трансектам. Обследовано 17 участков. Данные зоны отличаются по степени антропогенной нагрузки:

– Фоновая (центральную часть парка, достаточно удаленную от источников загрязнения с юга в среднем на 15 км от Златоустовского металлургического комбината и с севера – в среднем на 40 км от Карабашского медеплавильного комбината);

– Буферная (отделяющую фоновую и импактную зоны в виде полосы с севера и с юга, мощностью в среднем по 12 км, сужаясь на юге до 2 км);

– Импактная (на юге испытывающую влияние Златоустовского металлургического комбината до 9 км; на севере – Карабашского медеплавильного комбината максимум на 29 км) [6].

В связи с тем, что в данной статье приводятся данные о содержании селена на территории с минимальным антропогенным воздействием, приводятся данные по фоновой и буферной зоне.

Выбор места для отбора почвенных образцов производился с учетом рельефа местности, экспозиции, растительного покрова. Образцы почв (слой 0-20 см) отбирали методом конверта в пределах микро- и мезорельефа. В зависимости от величины элементарного участка из отобранных равномерно почвенных проб со всей площади, составлялась усредненная проба. Отбор проб почв осуществлялся в соответствии с методикой ГОСТ 17.4.2.01-81 и ГОСТ 17.4.2.02-83. В условиях Национального парка «Таганай» на исследуемых площадках отбирали три одни из наиболее распространенные на участках исследования виды растений травянистого яруса – вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.).

Содержание селена в почве и растениях определяли в филиале ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с помощью спектрометра “Varian 720–ES”. В почвах также определяли pH водной вытяжки потенциометрическим методом, органическое вещество – согласно ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества». По окончании исследования полученные данные подвергали статистической обработке с использованием пакета программ Excel.

**Обсуждение результатов.** Геохимические особенности территории определяют уровень концентрации селена в почвах с различными почвообразующими процессами. Особенности распределения селена в различных типах почв, помимо конкретных почвообразовательных процессов, во многом объясняются геоэкологическими особенностями региона исследования, а также физико-химическими свойствами почв. Результаты определения валового содержания селена в почвах Тюменского государственного заказника, а также содержания гумуса и pH почвенного раствора представлены в таблице 2.



Таблица 2

**Валовое содержание селена, гумуса и pH почвенного раствора  
в почвах Тюменского государственного заказника**

Точка отбора/ Учетная площадка	Валовое содержание селена в почве, мг/кг	C орг, %	pH
1/1	0,08	3,8	5,9
2/1	0,05	3,6	5,7
3/1	0,08	4,8	6,0
4/3	0,01	3,7	5,1
5/2	0,04	5,1	5,6
6/2	0,05	6,3	5,6
7/2	0,07	7,4	6,2
8/3	0,09	4,8	6,3
9/2	0,09	3,7	6,1
10/2	0,06	3,5	5,9
M/m	0,09/0,01	7,4/3,5	6,3/5,1
<i>Среднее</i>	<i>0,062±0,02</i>	<i>4,7</i>	<i>5,8</i>

Примечание. Над чертой М – наибольшая величина; под чертой m – наименьшая величина

Из представленных в таблице 3 данных следует, что валовое содержание селена колеблется в пределах от 0,01 до 0,09 мг/кг. По результатам анализа почвенных проб видно, что наибольшее валовое содержание селена обнаружено в точках 8 и 9 – 0,09 мг/кг. Наименьшее содержание селена установлено в точке 4 – 0,01 мг/кг. На основании представленных данных не удалось выявить связи между валовым содержанием селена в почвах заказника и видовым составом древесных растений-эдикаторов. Так, максимальное содержание селена выявлено в почвах учетных площадок с № 3 – в березово-сосновом лесу с липой и № 2 – липово-березовом лесу, наименьшее содержание селена выявлено в почвах березово-соснового леса. Валовое содержание селена в почвах учетных площадок с различным видовым составом также колеблется в близких пределах (табл. 2).

Среднее валовое содержание селена в почвах Тюменского заказника составляет  $0,062 \pm 0,02$  мг/кг. Среднее содержание гумуса составляет 4,7%, pH – 5,8. Валовое содержание селена в почвах Тюменского государственного заказника значительно меньше значений, приведенных в источниках [3; 4]. Однако следует отметить, что в Тюменском государственном заказнике валовое содержание селена определяли только в дерново-подзолистых почвах, а в источниках [3; 4] представлены данные о валовом содержании селена в почвах разных типов (южных черноземах, аллювиальных, серых лесных, луговых). Также следует отметить, что авторы использовали разные методы определения содержания селена в почвах.

В ходе проведения исследований нами были выведены корреляции между содержанием селена в почвах и содержанием гумуса и pH почвенного раствора. Установлено, что валовое содержание селена имеет хорошо выраженную связь с содержанием гумуса в почвах (коэффициент корреляции составляет 0,6), а связь между валовым содержанием селена и pH почвенного раствора выражена в меньшей степени (коэффициент корреляции – 0,1). Содержание органического углерода, селена и pH почвенного раствора Национального парка «Таганай» представлены в таблице 4.

Таблица 3

**Содержание органического углерода, селена и pH почвенного раствора  
Национального парка «Таганай»**

Исследуемые участки	Валовое содержание селена в почве, мг/кг	C орг, %	pH
<i>Фоновая зона</i>			
1-2	0,05±0,01	15,0	5,7
1-3	0,02 ±0,005	15,0	5,1
1-4	0,03±0,005	15,0	5,7
2-4	0,08±0,03	15,0	6,4
2-5	0,03±0,005	15,0	6,2
3-3	0,07±0,03	13,9	5,9
3-4	0,04±0,02	11,6	5,1
<i>Среднее по зоне</i>	<i>0,046±0,02</i>	<i>14,4±1,28</i>	<i>5,73±0,5</i>
<i>Буферная зона</i>			
3-1	0,08±0,03	13,8	6,2
3-2	0,07±0,02	13,9	6,1
2-6	0,04±0,01	9,28	6,0
2-3	0,08±0,02	10,0	6,8
2-2	0,06 ±0,01	9,0	6,8
1-6	0,03±0,02	15,0	6,8
1-5	0,04±0,02	15,0	5,7
3-7	0,04±0,02	10,8	5,4
3-6	0,08±0,03	14,5	5,4
<i>Среднее по зоне</i>	<i>0,056±0,02</i>	<i>12,36±2,54</i>	<i>6,13±0,57</i>
<i>В целом по парку</i>			
M/m	0,08/0,02	> 15/9,0	6,8/5,1
Среднее (	0,05±0,02	-	6,0

Примечание. Над чертой М – наибольшая величина; под чертой m – наименьшая величина

Согласно представленным данным содержание селена в почвах Национального парка «Таганай» находится в пределах от 0,02 до 0,08 мг/кг. Из выше приведенных данных следует, что среднее валовое содержание селена в почвах Национального парка «Таганай» составляет 0,05±0,02 мг/кг. Почвы отличаются высоким содержанием органического вещества (9,3-15); а pH почвенного раствора изменяется в пределах от слабокислых до близких к нейтральным (5,1-6,8).

Распределение уровня микроэлемента по функциональным зонам существенно не отличается, однако имеются тенденции по его увеличению в ряду: фоновая зона – буферная зона. Исследования показали, что, несмотря на значительные биогеохимические отличия двух ООПТ, содержание селена на изученных участках существенно не отличается и составляет от 0,01 до 0,09 мг/кг. Незначительные отличия в почвах исследованных особо охраняемых природных территорий, очевидно, связаны с одинаково низким содержанием этого элемента в почвообразующих породах. Установленные корреляции между валовым содержанием селена в почвах Национального парка «Таганай» и pH почвенного раствора показали среднюю зависимость между этими параметрами (коэффициент корреляции 0,54), и, напротив, меньшую связь между содержанием селена и органического вещества (коэффициент корреляции 0,36).

Для оценки уровня содержания селена в почве приняты 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. Согласно данной классификации, исследуемые почвы являются селенодефицитными. Это, возможно, является одной из причин недостатка селена в системе почва–растение [3; 11; 15].

На территории Национального парка «Таганай», помимо оценки почв, содержание селена определялось в растениях на примере трех наиболее широко представленных в травянистом покрове парка видах: вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.). Растения были отобраны на тех же участках, что и пробы почв. Полученные в результате исследований данные по содержанию селена в растениях, произрастающих в разных функциональных зонах парка, и значения коэффициента биологического накопления представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Содержание селена в растениях, отобранных в разных функциональных зонах  
Национального парка «Таганай» и значения коэффициента биологического поглощения**

Функциональная зона	Вид	Содержание селена в растениях, мг/кг сухого вещества	КБП
фон	<i>Oxalis acetosella</i> L.	0,039 ±0,02	0,72
	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	0,058 ±0,03	1,6
	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	0,050 ±0,01	1,38
буферная	<i>Oxalis acetosella</i> L.	0,068 ±0,01	1,14
	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	0,044 ±0,01	0,96
	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	0,060 ±0,01	0,99

Как следует из представленных в таблице 5 данных, содержание селена в наиболее распространенных травянистых растениях «Национального парка «Таганай» колеблется в незначительных пределах и достоверно не различается, как по видовому составу, так и в зависимости от приуроченности к функциональным зонам. Тенденции к изменению в пределах одной и той же функциональной зоны следующие: от 0,039 мг/кг в кислице до 0,058 мг/кг у вейника – в фоновой и от 0,044 мг/кг в чернике до 0,068 мг/кг в кислице в буферной зонах соответственно. Для оценки биологических особенностей потребности растений в селене, рассчитан коэффициент биологического поглощения, согласно формуле предложенной А.И. Перельманом (1979) [15]:

$$A_x = X/P_x,$$

где,  $A_x$  – коэффициент биологического поглощения (КБП);  $X$  – содержание элемента в золе растений;  $P_x$  – содержание элемента в почве на которой произрастает растение.

В целом, из представленных данных следует, что накопление селена травянистыми растениями, по-видимому, определяется видовыми особенностями и не зависит от нахождения растения в той или иной функциональной зоне национального парка. В таблице 5 представлены средние значения содержания селена в растениях Национального парка «Таганай» и коэффициентов биологического поглощения. По этому параметру КБН исследуемые растения Национального парка «Таганай» располагаются в следующей последовательности: черника-вейник-кислица.

Исследуемые растения, согласно классификации А.И. Перельмана, по накоплению селена относятся к группам слабого захвата [15]. Согласно данным Banuelos G., Schrale G. (1989) минимальное содержание Se приближается к 0,05 мг/кг, ниже которого отмечается дефицит микроэлемента (табл. 5). Таким образом, по данной классификации, содержание селена находится на нижней границе обеспеченности.



Таблица 5

**Средние значения содержания селена в растениях  
Национального парка «Таганай» и коэффициентов биологического поглощения**

Вид растений	Содержание селена в растении, мг/кг сухого вещества	КБП
Кислица	0,054	0,93
Черника	0,051	1,28
Вейник	0,052	1,05

В целом на содержание микроэлементов в растениях, в том числе селена, влияет комплекс факторов, основными из них являются биологические особенности культуры, почвенные условия, прежде всего содержание подвижных форм микроэлементов [4; 6; 14; 16; 17; 20; 22-26]. В связи с этим, низкое содержание селена в исследуемых растениях Национального парка «Таганай» связано с дефицитом этого валового содержания элемента в почвах и, по-видимому, с невысоким содержанием его водорастворимых форм.

**Выводы.** 1. Несмотря на значительные биогеохимические отличия исследуемых ООПТ, содержание селена в почвах изученных территорий существенно не отличается и составляет от 0,01 до 0,09 мг/кг, при средних значениях  $0,05 \pm 0,02$  и  $0,062 \pm 0,02$  мг/кг соответственно в почвах Национального парка «Таганай» и Тюменского государственного заказника.

2. Исследуемые почвы ООПТ являются селенодефицитными. Это, возможно, является одной из причин недостатка селена в системе почва–растение.

3. Установлено, что валовое содержание селена имеет выраженную взаимосвязь с содержанием гумуса в почвах Тюменского государственного заказника и с уровнем кислотности в почвах Национального парка «Таганай».

4. Содержание селена в наиболее распространенных травянистых растениях «Национального парка «Таганай» (вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) колеблется в незначительных пределах и достоверно не различается, как по видовому составу, так по приуроченности к функциональным зонам. Обобщенное содержание селена в растениях находится на нижней границе обеспеченности (0,051-0,054 мг/кг сухого вещества). Согласно рассчитанному коэффициенту поглощения данные растения по накоплению селена относятся к группам слабого захвата.

5. Низкое содержание селена в исследуемых растениях Национального парка «Таганай» связано с дефицитом этого валового содержания элемента в почвах и, по-видимому, с невысоким содержанием его водорастворимых форм.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОН РСМ  
в рамках научного проекта № 20-55-44028*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research  
and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework  
of the scientific project No. 20-55-44028*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А.А., Жаворонков А.А. Риш М.А. Микроэлементозы человека. М., Медицина, 1991.
2. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002.
3. Барабанщикова Л.Н. Содержание и распределение селена в агроландшафтах Северного Зауралья: дисс. канд. биол. наук. Тюмень, 2013. 125 с.

4. Боев В.А. Селен в почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. №12. С. 112-120.
5. Боев В.А., Боев В.В. Соотношение хвойной и лиственной составляющей и величина листового опада смешанных хвойно-лиственных лесов подзоны подтайги // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. №1. С. 43-49.
6. Братухин С.В. Экологический аудит национального парка «Таганай»: Автореф. ... канд. биол. наук. М., 2005. С. 100-107.
7. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 250 с.
8. Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрорегиональная вариабельность селенового статуса населения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. №1. С. 107-127.
9. Гуров В.И., Крюков К.В. Проект внутрихозяйственного устройства государственного заказника «Тюменский». Новосибирск, 1980.
10. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М., Наука, 1974. 300 с.
11. Зайко О.А., Синдирева А.В., Путалова И.Н., Конвай В.Д. Влияние токсических доз селена на процессы перекисного окисления липидов в крови и брыжеечных лимфатических узлах крыс // Медицинская наука и образование Урала. 2009. Т. 10. №2(57). С. 57-59.
12. Кабата-Педас А., Пендас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
13. Капительчук М.В., Капительчук 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.
14. Майманова Т. М. Селен в основных компонентах ландшафтов Горного Алтая: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 2003. 22 с.
15. Перельман А.И. Геохимия. М., Высшая школа, 1989. 522 с.
16. Полосина А.В. Селен в почвообразующих породах и почвах Новосибирской // Сибирской экологический журнал. 2009. Т.2. С. 293-297.
17. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное: дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2012. 462 с.
18. Синдирева А.В., Голубкина Н.А. Оценка селенового статуса территории Омской области // Омский научный вестник. 2011. №1(104). С. 192-196.
19. Синдирева А.В., Котченко С.Г., Гурьев Н.Е. Геохимическая оценка содержания селена в основных типах почв Тюменской области // Проблемы региональной экологии. 2021. №3. С. 32-38.
20. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
21. Чебакова И.В. Национальные парки России. М.: ЦОДП, 1996.
22. Gong J., Yang J., Wu H., Fu Y., Gao J., Tang S., Ma S. Distribution of soil selenium and its relationship with parent rocks in Chengmai County, Hainan Island, China // Applied Geochemistry. 2022. Vol. 136. P. 105147. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105147>
23. Liu Y., Tian X., Liu R., Liu S., Zuza A.V. Key driving factors of selenium-enriched soil in the low-se geological belt: a case study in red beds of sichuan basin, China // Catena. 2021. Vol. 196. P. 104926. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104926>
24. Shahid M., Niazi N. K., Khalid S., Murtaza B., Bibi I., Rashid M.I. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health // Environmental Pollution. 2018. Vol. 234. P. 915-934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.019>
25. Yang H., Yang X., Ning Z., Kwon S.Y., Li M.L., Tack F.M., Yin R. The beneficial and hazardous effects of selenium on the health of the soil-plant-human system: An overview // Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 422. P. 126876. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126876>
26. Zhang J., Taylor E. W., Bennett K., Saad R., Rayman M. P. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China // The American journal of clinical nutrition. 2020. Vol. 111. №6. P. 1297-1299. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa095>

## REFERENCES

1. Avtsyn, A.A., Zhavoronkov, A.A. & Rish, M.A. (1991). Mikroelementy cheloveka. Moscow. (in Russ.).
2. Andreeva, E.N., Bakal, I.Yu., Gorshkov, V.V., Lyanguzova, I.V., Maznaya, E.A., Neshataev, V.Yu., Neshataeva, V.Yu., Stavrova, N.I., Yarmishko, V.T., & Yarmishko, M.A. (2002). Metody izucheniya lesnykh soobshchestv. St. Petersburg. (in Russ.).
3. Barabanshchikova, L.N. (2013). Soderzhanie i raspredelenie selena v agrolandshaftakh Severnogo Zaural'ya: diss. kand. biol. nauk. Tyumen. (in Russ.).
4. Boev V.A. (2013). Selen v pochvakh i sel'skokhozyaistvennykh kul'turakh yuga Tyumenskoi oblasti. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, (12), 112-120. (in Russ.).

5. Boev, V.A., & Boev, V.V. (2017). Sootnoshenie khvoinoi i listovoi sostavlyayushchei i velichina listovogo opada smeshannykh khvoino-listvennykh lesov podzony podtaigi. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (1), 43-49. (in Russ.).
6. Bratukhin, S.V. (2005). *Ekologicheskii audit natsional'nogo parka "Taganai"*: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Moscow, 100-107. (in Russ.).
7. Golubkina, N.A., & Papazyan, T.T. (2006). *Selen v pitanii. Rasteniya, zhivotnye, chelovek*. Moscow. (in Russ.).
8. Golubkina, N.A., Sindireva, A.V., & Zaitsev, V.F. (2017). Vnutriregional'naya variabel'nost' selenovogo statusa naseleniya. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 12(1), 107-127. (in Russ.).
9. Gurov, V.I., & Kryukov, K.V. (1980). *Proekt vnutrikhozyaistvennogo ustroystva gosudarstvennogo zakaznika "Tyumenskii"*. Novosibirsk. (in Russ.).
10. Ermakov, V.V., & Koval'skii, V.V. (1974). *Biologicheskoe znachenie selenia*. Moscow. (in Russ.).
11. Zaiko, O.A., Sindireva, A.V., Putalova, I.N., & Konvai, V.D. (2009). Vliyanie toksicheskikh doz selenia na protsessy perekisnogo okisleniya lipidov v krovi i bryzhechnykh limfaticheskikh uzлах kryс. *Meditinskaya nauka i obrazovanie Urala*, 10(2(57)), 57-59. (in Russ.).
12. Kabata-Pedias, A., & Pendias, Kh. (1989). *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. Moscow. (in Russ.).
13. Kapital'chuk, M.V., Kapital'chuk, I.P., & Golubkina, N.A. (2011). Akkumulyatsiya i migratsiya selenia v komponentakh biogeokhimicheskoi tsepi "pochva – rasteniya – chelovek" v usloviyakh Moldavii. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, (3), 323-335. (in Russ.).
14. Maimanova, T.M. (2003). *Selen v osnovnykh komponentakh landshaftov Gornogo Altaya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. Novosibirsk. (in Russ.).
15. Perel'man, A.I. (1989). *Geokhimiya*. Moscow. (in Russ.).
16. Polosina, A.V. (2009). Selen v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Novosibirskoi. *Sibirskoi ekologicheskii zhurnal*, 2, 293–297. (in Russ.).
17. Sindireva, A.V. (2012). *Kriterii i parametry deystviya mikroelementov v sisteme pochva-rastenie-zhivotnoe: dis. ... d-ra biol. nauk*. Tyumen'. (in Russ.).
18. Sindireva, A.V., & Golubkina, N.A. (2011). Otsenka selenovogo statusa territorii Omskoi oblasti. *Omskii nauchnyi vestnik*, (1(104)), 192-196. (in Russ.).
19. Sindireva, A.V., Kotchenko, S.G., & Gur'ev, N.E. (2021). Geokhimicheskaya otsenka sodержaniya selenia v osnovnykh tipakh pochv Tyumenskoi oblasti. *Problemy regional'noi ekologii*, (3), 32-38. (in Russ.).
20. Cyso, A.I. (2007). Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk. (in Russ.).
21. Chebakova, I.V. (1996). *Natsional'nye parki Rossii*. Moscow. (in Russ.).
22. Gong, J., Yang, J., Wu, H., Fu, Y., Gao, J., Tang, S., & Ma, S. (2022). Distribution of soil selenium and its relationship with parent rocks in Chengmai County, Hainan Island, China. *Applied Geochemistry*, 136, 105147. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105147>
23. Liu, Y., Tian, X., Liu, R., Liu, S., & Zuza, A. V. (2021). Key driving factors of selenium-enriched soil in the low-se geological belt: a case study in red beds of sichuan basin, China. *Catena*, 196, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104926>
24. Shahid, M., Niazi, N. K., Khalid, S., Murtaza, B., Bibi, I., & Rashid, M. I. (2018). A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. *Environmental Pollution*, 234, 915-934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.019>
25. Yang, H., Yang, X., Ning, Z., Kwon, S. Y., Li, M. L., Tack, F. M., ... & Yin, R. (2022). The beneficial and hazardous effects of selenium on the health of the soil-plant-human system: An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126876. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126876>
26. Zhang, J., Taylor, E. W., Bennett, K., Saad, R., & Rayman, M. P. (2020). Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China. *The American journal of clinical nutrition*, 111(6), 1297-1299. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa095>

дата поступления: 25.07.2021

дата принятия: 03.09.2021

© Боев В.А., Синдирева А.В., Боев В.В., Бурмистрова А.С., 2022