

© В.А. БОЕВ

vikboev2009@mail.ru

УДК 546.23 (571.12)

### СЕЛЕН В ПОЧВАХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**АННОТАЦИЯ.** Представлены результаты изучения содержания селена в почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области. Выявлены закономерности распределения селена по профилю почв региона. Установлено, что селен концентрируется в гумусовом и иллювиальном горизонтах почв. Рассмотрено распределение селена в верхнем (0-20 см) горизонте почв. Показано, что содержание селена в верхнем горизонте почв определяется прежде всего содержанием гуминовых веществ. Наиболее высокое содержание селена выявлено в почвах в окрестностях аэропорта «Рощино» (0,413 мг/кг), что, возможно, связано с антропогенным воздействием. Содержание селена в растениях определяется видовыми особенностями растений, содержанием этого элемента в почвах, и связано с такими свойствами почв, как кислотность и содержание гумуса. Установлено, что наибольшее содержание селена в овсе в районе аэропорта «Рощино» связано с высоким содержанием в почвах. Выявлено, что содержание селена в почвах юга Тюменской области находится в пределах биогеохимической нормы (0,2-0,7 мг/кг), а содержание в растениях юга Тюменской области находится в интервале 0,029-0,182 мг/кг, что соответствует содержанию селена в растениях территорий с благополучной экологической ситуацией.

**SUMMARY.** The article presents the results of the research of selenium contents in soils and crops in the south of Tyumen oblast. The patterns of selenium distribution in the soil of the region are discovered. Selenium is ascertained to concentrate in the humic and illuvial layers of soil. Selenium distribution in the top layer (0-20 cm) of the soil is examined. Also it is found that selenium content in the top layer of soil is primarily determined by the content of humic substances. The highest selenium is found on the outskirts of Roschino airport (0.413 mg/kg), perhaps due to the anthropogenic influence. Selenium content in plants is determined by its biological peculiarities and the content of this element in the soil and it is connected such peculiarities of soil as acidity and the amount of humus. It has been determined that the large amount of selenium in oats found near Roschino airport is caused by high selenium content in the soil. It has been found that the content of selenium in the soils of the south of Tyumen region is biogeochemically normal (0.2–0.7 mg/kg). Selenium content in the plants of the south of Tyumen region is within the range from 0.182 mg/kg to 0.029 mg/kg that corresponds to its content in ecologically safe territories.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Селен, почва, сельскохозяйственные культуры.

**KEY WORDS.** Selenium, soil, agricultural plants.

Селен — химический элемент главной подгруппы VI группы, 4-го периода в периодической системе, имеет атомный номер 34, обозначается символом Se (лат. Selenium). Жизненная необходимость этого элемента для живых организмов доказана только для животных, где он присутствует в селенсодержащих аминокислотах, белках и окислительно-восстановительных ферментах. Селен участвует в таких биологических процессах как метилирование, разрушение перекиси водорода и перекисных радикалов, окисление соединений серы и липидов.

Селен является необходимым для жизнедеятельности животных элементом. При его дефиците возникают такие заболевания, как беломышечная болезнь овец и крупного рогатого скота, алиментарный гепатит свиней, эссудативный диатез домашней птицы. Возникновение заболеваний вероятно при концентрации селена в кормах 0,01-0,1 мг/кг сухого вещества, в почвах 005-0,1 мг/кг, в водах — менее 10 мкг/кг [1], [2], [3].

При содержании в рационе человека менее 20 мкг/сутки селена возможно возникновение болезни Кешана, снижение иммунитета и функции печени, катаракта, болезни волос, кожи костей, репродуктивная недостаточность.

Однако селен в высоких концентрациях является весьма токсичным элементом, опасным для живых организмов. В больших количествах он содержится в почвах и природных водах геохимических провинций, которые возникают как естественным путем, так и вследствие техногенной деятельности [4], [5].

В России принят максимально допустимый уровень в кормах — 0,5-1,0 мг/кг сухого вещества. При превышении этого уровня у животных наблюдаются симптомы отравления: анемия, нарушение сердечной деятельности, исхудание, деформация копыт и ног.

У человека при избытке селена, который возникает, как правило, в результате техногенного загрязнения, наблюдается постоянное утомление и усталость, поражение ногтей и волос, нарушение эпидермиса, повреждение эмали зубов. Суточная потребность человека в селене составляет 0,02-0,20 мг [6]. Из этого краткого экскурса о значении селена для живых организмов понятна необходимость выявления содержания селена в почвах агроценозов и сельскохозяйственных культурах.

Изучению селена посвящено значительное количество работ, в частности фундаментальное исследование [7], вопросам действия селена на организм человека [8], [9], [10]. В Западной Сибири содержание селена в системе почва—растения мало изучено. В частности, опубликован ряд работ, посвященных этому вопросу по Новосибирской области [11] и Алтайскому краю [12], [13]. В связи с этим необходимы подобного рода исследования в Тюменской области, в южной части которой значительное развитие получило растениеводство.

В ходе проведения исследований\* были отобраны образцы верхнего горизонта почв (0-20 см) в 9 районах юга Тюменской области, заложены 4 разреза для

---

\* Автор выражает глубокую благодарность заслуженному деятелю науки России, заведующему лабораторией заведующему лабораторией биогеохимии Института геохимии и аналитической химии имени В.В. Вернадского РАН, д.б.н., профессору Ермакову В.В., организовавшему стажировку, во время которой автором были получены данные для этой статьи и сотрудникам лаборатории, оказавшим большую помощь в освоении методики определения селена в почвах и растениях.

изучения распределения селена по профилю почв, а также выращиваемые на этих почв сельскохозяйственные культуры — пшеница, ячмень, овес, горох.

Характеристика участков отбора почв приведена в таблице 1.

Таблица 1

### Характеристика участков почв

Район	Почвенная		Тип почв	Подтип почв	Гранулометрический состав
	зона	провинция			
Армизонский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	чернозем	выщелоч.	ср. суглин
Заводоуковский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	чернозем	выщелоч.	ср. суглин
Исетский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	аллювиал	луговая	глинист.
Н-Тавдинский	южнотаеж. лесная	З.-Сиб. Южнотаеж. лесная	сер. лесн.	сер. лесн.	ср. суглин
Омутинский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	чернозем	выщелоч.	ср. суглин
Тюменский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	сер. лесн.	сер. лесн.	т. суглин.
Тюменский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	чернозем	выщелоч.	ср. суглин
Упоровский	лесостепная	З.-Сиб. лесостепная	сер. лесн.	т. серая.	ср. суглин
Ярковский	южнотаеж. лесная	З.-Сиб. Южнотаеж. лесная	сер. лесн.	св. серая	легк. сугл

Как следует из представленных в табл. 1 данных, большая часть исследованных почв относится к 2 типам: черноземам выщелоченным и серым лесным, широко представленным на юге Тюменской области, и один образец из Исетского района — к аллювиальным почвам. Серые лесные почвы находятся на втором месте по распространенности на юге региона, занимая площадь 889 тыс га, что составляет 6,3% территории юга области. Менее распространены черноземы (3% территории региона), однако широко используются в земледелии (25% от площади сельхозугодий) [14].

В табл. 2 приведены агрохимические показатели исследованных почв.

Таблица 2

### Агрохимические показатели почв

Район	Гумус, %	Подвижные формы		рН
		фосфор	калий	
		мг/кг		
Армизонский	7,7	60,5	109,0	5,2
Заводоуков-ский	5,2	119,0	89,4	5,2
Исетский	5,8	100,7	87,1	5,3
Н-Тавдинский	2,6	74,6	91,0	5,2

Окончание табл. 2

Омутинский	5,8	242,4	117,8	5,4
Тюменский	3,8	226,6	80,7	5,3
Тюменский	6,7	26,3	49,0	5,0
Тюменский	5,9	256,8	70,7	4,7
Упоровский	2,6	37,9	92,7	5,0
Ярковский	3,5	62,8	89,6	5,2

Согласно данным в табл. 2, серые лесные почвы имеют повышенную кислотность, часть образцов характеризуется низким содержанием гумуса и подвижного фосфора. Черноземы имеют близкую к нейтральной реакцию среды, некоторые образцы характеризуются низким содержанием подвижного фосфора и калия.

Распределение селена по профилю почв отражено в таблице 3.

Таблица 3

## Распределение селена по профилю почв

Район	Тип почвы	Глубина, см	Se, мг/кг
Армизонский	чернозем	0—20	0,217
		20—40	0,292
		40—60	0,246
		60—80	0,392
		80—100	0,288
Исетский	аллювиальная	0—20	0,248
		20—40	0,248
		40—60	0,224
		60—80	0,168
		80—100	0,224
Омутинский	серая лесная	0—20	0,328
		20—40	0,22
		40—60	0,248
		60—80	0,3
		80—100	0,224
Нижнетавдинский	серая лесная	0—20	0,5
		20—40	0,34
		40—60	0,388
		60—80	0,304
		80—100	0,26

Гумусовый горизонт почв Армизонского района имеет мощность примерно 40 см, концентрация селена здесь довольно высока — 0,292 мг/кг. Наибольшее содержание селена отмечено в гумусовом и иллювиальном горизонтах.

В иллювиальном горизонте, располагающемся на глубине 60-80 см, концентрация селена достигает наибольшего значения — 0,392 мг/кг.

Поскольку Армизонский район располагается в лесостепной и степной зонах, характеризующихся относительно небольшим выпадением осадков, селен содержится в почвах в форме селенатов, которые вымываются из гумусового горизонта в иллювиальный.

В профиле почвы Исетского района концентрация селена постепенно снижается вниз по профилю до глубины 80 см, где составляет 0,168 мг/кг. Гумусовый горизонт имеет мощность 40 см, селен распределен в нем равномерно с концентрацией 0,248 мг/кг. Высокая концентрация селена в гумусовом горизонте объясняется способностью органического вещества почв связывать и удерживать данный элемент. Снижение концентрации селена вниз по профилю объясняется закономерным снижением в нижележащих горизонтах концентрации гумуса.

В профиле почвы Омутинского района наибольшее содержание селена наблюдается в гумусовом горизонте — 0,328 мг/кг, затем происходит значительное снижение концентрации элемента к горизонту вымывания до 0,220 мг/кг. В иллювиальном горизонте постепенно увеличивается содержание селена до 0,300 мг/кг, в результате фиксации глинистыми минералами. В материнской породе концентрация селена вновь снижается и составляет 0,224 мг/кг.

Гумусовый горизонт почв Нижне-Тавдинского района также наиболее насыщен селеном (0,500 мг/кг), благодаря фиксации этого элемента органическим веществом. Иллювиальный горизонт, приуроченный к глубине  $\approx$  20-40 см, благодаря частицам глины имеет увеличенную концентрацию селена (0,388 мг/кг). Содержание селена снижается в материнской породе до 0,260 мг/кг.

Содержание селена в верхнем (0-20 см) слое почв и растениях представлено в табл. 4.

Таблица 4

**Содержание селена в верхнем слое почв (0-20 см.) и в растениях**

Район	Культура	Содержание селена в почве мг/кг	Содержание селена в растениях, мг/кг
Упоровский	Пшеница	0,179	0,035
Н-Тавдинский	Пшеница	0,194	0,038
Исетский	Пшеница	0,333	0,033
Омутинский	Пшеница	0,202	0,058
Армизонский	Пшеница	0,291	0,083
Ярковский	Овес	0,232	0,080
Аэропорт Роцино	Овес	0,413	0,182
Тюменский	Ячмень	0,192	0,029
Заводоуковский	Горох	0,288	0,074
М+т		0,179-0,413	0,029-0,182
Среднее содержание		0,258	0,0622

В почвах агроландшафтов юга Тюменской области среднее содержание селена составляет 0,258 мг/кг. Наибольшее содержание селена отмечено в почвах в районе аэропорта «Рошино» — 0,413 мг/кг, что является следствием антропогенного воздействия. Относительно высокое содержание селена имеет место в почвах Исетского, Армизонского и Заводоуковского районов. На основании представленных данных можно вывести зависимость содержания селена от типовых особенностей почв и расположить почвы по мере уменьшения содержания этого элемента в следующий ряд: черноземы аллювиальные — серые лесные. Накопление селена в аллювиальных почвах связано с концентрированием в наносном материале, а черноземах — в органическом веществе.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание селена в растениях юга Тюменской области определяется прежде всего содержанием этого элемента в почвах и в гораздо меньшей мере проявляется влияние видовых особенностей растений. Так, наибольшее содержание селена отмечено в овсе, выращиваемом в районе аэропорта Рошино — 0,182 мг/кг. Причиной этого, по-видимому, является антропогенная деятельность. В результате антропогенной деятельности почвы, расположенные вблизи аэропорта, насытились селеном до концентрации 0,413 мг/кг. Кроме того, здесь самый низкий показатель pH почв, равный 4,7, что также может объясняться следствием загрязнения. Низкий показатель pH препятствует еще более интенсивному поглощению элемента растениями, поскольку селен в кислых почвах фиксируется гидроокислами железа, образуя нерастворимые соединения, недоступные для флоры. Содержание селена в почвах этой территории, как уже было отмечено ранее, имеет максимальное значение среди исследованных почв. Вместе с тем, в пшенице, произрастающей в разных районах, отмечен довольно значительный размах колебаний содержания селена — от 0,035 до 0,83 мг/кг, что определяется главным образом содержанием селена в почвах.

Пшеница в Армизонском районе насыщена селеном (0,083 мг/кг) благодаря высокой концентрации гуминовых веществ, а также мало дождливой погоде, чему способствует расположение района в лесостепи и степи. Поскольку влага здесь представлена далеко не в избытке, селен, присутствующий в почве, в большем количестве находится в составе водорастворимых соединений, которые являются наиболее доступными для растений. Высокое содержание селена в почве Армизонского района (0,291 мг/кг) обусловлено крайне большой концентрацией гумуса (7,7 %), в сравнении с концентрациями гуминовых кислот сельскохозяйственных почв остальных рассматриваемых районов.

Пшеница из Омутинского района имеет достаточно высокие показатели содержания селена, чему способствует высокое содержание гуминовых веществ (5,8%), благоприятствующих фиксации селена, содержание которого в почве составляет 0,202 мг/кг. Из всех рассматриваемых почв здесь самый высокий показатель pH = 5,4, что более благоприятно для образования соединений селена, доступных для растений, обусловленных их высокой способностью к растворению в воде.

Самые малые показатели по содержанию гумуса в почвах имеют Нижнетавдинский и Упоровский районы (2,8 %). По этой самой причине содержание селена в почвах невелико и составляет 0,194 и 0,179 мг/кг соответственно. Почвы в этих районах однотипны и относятся к серым лесным почвам со средне-



суглинистым гранулометрическим составом. Содержание селена в пшенице имеет схожие и не высокие показатели — 0,038 мг/кг в Нижнетавдинском районе и 0,035 мг/кг в Упоровском районе.

При схожих агрохимических показателях с почвами Омутинского района, почвы Исетского района имеют достаточно высокую концентрацию селена (0,058 мг/кг). Однако, при этом, содержание селена в пшенице Исетского района ниже, чем в пшенице сельхозугодий Омутинского района, и составляет 0,033 мг/кг. Это различие может объяснено типовыми особенностями почв. Почвы Исетского района относятся к аллювиальным, а почвы Омутинского района к серым лесным.

Содержание селена в горохе Заводоуковского района составляет 0,074 мг/кг. Этот достаточно высокий показатель объясняется тем, что горох относится к семейству растений, являющемуся одним из наиболее интенсивных накопителей элемента.

Овес, выращиваемый на сельскохозяйственных полях Ярковского района, имеет высокую концентрацию селена в результате произрастания данной культуры на почвах, которые по своему гранулометрическому составу имеют наименьшее содержание глины из исследованных почв (единственные легко-суглинистые почвы). В результате чего селен в данных почвах меньше фиксируется глинистыми минералами и является более доступным для растительности.

Наименьшее содержание селена (0,029 мг/кг) имеет ячмень в Тюменском районе, который рос на серой лесной почве тяжело-суглинистого гранулометрического состава. Причиной тому является малое содержание гумуса (3,8 %), а также селена (0,192 мг/кг) в почве. Кроме того, тяжелый суглинистый состав почвы способствует удерживанию присутствующего в почве селена, в результате фиксации элемента глинистыми минералами.

Экологическая оценка содержания селена в почвах юга Тюменской области затрудняется отсутствием в России нормативов допустимого уровня содержания этого элемента в почвах. В связи с этим уместно воспользоваться установленным рядом исследователей уровнем содержания селена в почве 2 мг/кг, при котором проявляется угнетающее действие на растения [7]. Поскольку максимальное содержание селена в исследованных почвах составляет 0,413 мг/кг, содержание селена в почвах не превышает опасных для растений пределов.

В России нормируется содержание селена в зерне и овощах: ДОК составляет 0,5 мг/кг при естественной влажности. Сопоставление содержания селена в сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области с этим показателем дает основание отметить отсутствие превышения гигиенических нормативов.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Селен концентрируется в гумусовом и иллювиальном горизонтах почв.
2. Содержание селена в верхнем (0-20 см) горизонте определяется главным образом содержанием гумуса.
3. Содержание селена в растениях зависит, прежде всего, от содержания гумуса в почвах и в гораздо меньшей мере от типовых особенностей почв.
4. По убыванию содержания селена почвы юга Тюменской области можно расположить в следующий ряд: черноземы — аллювиальные — серые лесные.
5. В почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области содержание селена находится в пределах гигиенически обоснованных норм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: Мир, 1985. 213 с.
3. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству питьевой воды центральных систем водоснабжения: санитарные правила и нормы. М., 111 с.
4. Ермаков В.В. Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка // Основные направления геохимии. М.: Наука, 1995. С. 183-196.
5. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Геохимическая экология организмов при повышенном содержании селена в среде // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР. 1968. Т. 12. С. 204-237.
6. Скальный А.В., Скальная М.Т., Есин А.В. и др. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение). М., 1997. 48 с.
7. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука. 1974. 298 с.
8. ВОЗ 1. Селен. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 58. 1989.
9. Селен в питании: растения, животные, человек / Под ред. Н.А. Голубкиной, Т.Т. Папазяна. М.: Печатный город, 2006. 255 с.
10. Голубкина Н.А., Скальный А.В., Соколов Я.А., Шелкунов Л.Ф. Селен в медицине и экологии. М., 2002. 134 с.
11. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2001. 229 с.
12. Майманова Т.М. Селен в природных водах Алтая // 4ая Российская биогеохимическая школа «Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы». М.: Наука, 2003 С. 207-208.
13. Мальгин М.А., Пузанов А.В., Майманова Т.М. Селен в основных компонентах окружающей среды Алтая // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. Т. 8. № 6. С. 837-843.
14. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1990. 286 с.

## REFERENCES

1. Avsyn, A.P., Zhavoronkov, A.A., Rish, M.A., Storchkova, L.S. *Mikrojelementozy cheloveka: jetiologija, klassifikacija, organopatologija* [Human microelementoses: aetiology, classification, organopathology]. Moscow, 1991. 496 p. (in Russian).
2. Jekhler, V. *Jady v nashej pishhe* [Poisons in our food]. Moscow, 1985. 213 p. (in Russian).
3. *Pit'evaja voda. Gigenicheskie trebovaniya k kachestvu pit'evoj vody central'nyh sistem vodosnabzheniya: sanitarnye pravila i normy* [Potable water. Hygienic requirements to the quality of potable water of central water-supply systems: sanitary regulations and standards]. Moscow. 111 p. (in Russian).
4. Ermakov, V.V. Biogeochemical provinces: conception, classification, and ecological evaluation // *Osnovnye napravleniya geohimii* [Principal directions of geochemistry]. Moscow: Nauka, 1995. Pp. 183-196. (in Russian).
5. Ermakov, V.V., Koval'skij, V.V. Geochemical ecology of organisms under the conditions of high selenium content in the environment. *Trudy biogeohimicheskoy laboratorii AN SSSR — Materials of Biochemical Laboratory RAS USSR*. 1968. Vol. 12. Pp. 204-237. (in Russian).
6. Skal'nyj, A.V., Skal'naja, M.T., Esin, A.V. et al. *Mikrojelementozy cheloveka (diagnostika i lechenie)* [Human microelementoses (diacrisis and treatment)]. Moscow, 1997. 48 p. (in Russian).



7. Ermakov, V.V., Koval'skij, V.V. *Biologicheskoe znachenie selen* [Biological value of selenium]. Moscow: Nauka, 1974. 298 p. (in Russian).
8. VOZ 1. *Selen. Gigienicheskie kriterii sostojanija okruzhajushhej sredy. Vyp. 58* [WHO 1. Selenium. Hygienic criteria of environmental conditions. Issue 58]. 1989. (in Russian).
9. *Selen v pitanii: rastenija, zhivotnye, chelovek* [Selenium in nutrition: flora, fauna, humans] / Ed. by N.A. Golubkinoy, T.T. Papazjan. Moscow, 2006. 255 p. (in Russian).
10. Golubkina, N.A., Skal'nyj, A.V., Sokolov, Ja.A., Shelkunov, L.F. *Selen v medicine i jekologii* [Selenium in medicine and ecology]. Moscow, 2002. 134 p. (in Russian).
11. Il'in, V.B., Syso, A.I. *Mikrojelementy i tjazhelye metally v pochvah i rastenijah Novosibirskoj oblasti* [Microelements and heavy metals in soil and plants of the Novosibirsk Region]. Novosibirsk, 2001. 229 p. (in Russian).
12. Majmanova T.M. Selenium in natural waters of Altai [Selen v prirodnyh vodah Altaja]. *4aja Rossijskaja biogeohimicheskaja shkola «Geohimicheskaja jekologija i biogeohimicheskoe izuchenie taksonov biosfery»* (4<sup>th</sup> Russian Biochemical School «Geochemical ecology and biogeochemical study of biosphere taxons»). Moscow: Nauka, 2003. Pp. 207-208. (in Russian).
13. Mal'gin, M.A., Puzanov, A.V., Majmanova, T.M. Selenium in principal components of Altai environment. *Himija v interesah ustojchivogo razvitija — Chemistry for the benefit of sustainable development*. 2000. Vol. 8. № 6. Pp. 837-843. (in Russian).
14. Karetin, L.N. *Pochvy Tjumenskoj oblasti* [Soils of the Tyumen region]. Novosibirsk: Nauka, 1990. 286 p. (in Russian).