

## ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ СВИНЦА В ДЕРНОВО-ПОДБУРЕ

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта СО РАН «Разработка системы комплексной индикации процессов опустынивания для оценки современного состояния экосистем Сибири и Центральной Азии, создание на её основе прогнозных моделей и системы мониторинга» и программы «Биологическое разнообразие», проект № 23–11 «Инвентаризация разнообразия сообществ и экосистем Байкальского региона (2009–2010 гг.)».*

Изучено влияние свинца в дерново-подбуре на показатели прорастания и роста пшеницы при разных сроках компостирования после внесения соединений металла. Установлено стимулирующее воздействие свинца на продолжительность прорастания, длину и массу проростков при дозах 50–200 мг/кг и токсичное – при 400–3200 мг/кг почвы. Увеличение срока компостирования повысило стимулирующий эффект при невысоких концентрациях свинца и снизило токсичное влияние элемента при более высоких.

**Ключевые слова:** фитотоксичность; свинец; дерново-подбур; пшеница.

Загрязнение почвенного покрова избыточными концентрациями свинца приводит к неблагоприятным экологическим последствиям [1–9 и др.].

К проблеме токсичного влияния свинца на растения приковано внимание большого количества исследователей. Несмотря на многочисленные работы в этой области, вопрос о механизме связывания соединений свинца почвой и его транслокации в растения остается дискуссионным [10], что осложняется многообразием почвенных условий и различной чувствительностью видов [11], в связи с чем результаты экспериментов часто имеют региональную значимость. В этой связи представляется целесообразным проведение подобного рода исследований для конкретных территорий, наиболее подверженных загрязнению тяжелыми металлами, имеющих достаточно однородные почвенно-климатические условия с набором культур, широко используемых в сельскохозяйственном производстве.

Актуальность изучения свинца в Байкальском регионе обусловлена низкой потенциальной буферностью почвенного покрова к тяжелым металлам и имеющимся локальным загрязнениям, приуроченным к территориям горнодобывающих и горнообогатительных предприятий, промышленно развитым населенным пунктам, объектам транспортных и бытовых коммуникаций, свалкам и др. Наиболее остро проблема загрязнения окружающей среды свинцом в пределах

Республики Бурятия стоит в Закаменском районе в окрестностях складирования техногенных отходов некогда функционировавшего Джидинского ГОК, активно мигрирующих в сопредельные и подчиненные ландшафты, в том числе на территорию и окрестности г. Закаменска [12].

В связи с этим нами была поставлена цель – изучить фитотоксичное влияние соединений свинца как приоритетного загрязнителя в фоновом для г. Закаменска дерново-подбуре на показатели всхожести, начального роста и биомассы проростков пшеницы, что позволит прогнозировать уровни загрязнения почв свинцом, приводящие к неблагоприятным экологическим и санитарно-гигиеническим последствиям в регионе.

### Материалы и методы

Для изучения фитотоксичности свинца был заложен лабораторный модельный опыт. В опыте использовали дерново-подбур, отобранный в Закаменском районе Республики Бурятия, в 30 км восточнее г. Закаменска. Для проведения эксперимента отбирали верхний слой почвы (0–8 см) из горизонта АУ. Физико-химические свойства дерново-подбура приведены в табл. 1. Буферность почвы по отношению к тяжелым металлам, подвижным в кислой среде, согласно шкале В.Б. Ильина [13], составила 25 баллов.

Таблица 1

Физико-химические свойства дерново-подбура

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН <sub>водн</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>подв</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>подв</sub>	Содержание частиц < 0,01, %
				мг/100 г		
АУ	0–8	13,5*	5,8	3,3	14,9	25,8
ВФ	8–45	2,0	6,5	0,7	14,9	44,8

\* – C<sub>орг</sub>, %.

Отобранную почву высушивали до достижения постоянного веса на открытом воздухе. Воздушно-сухую почву массой 50 г вносили в пластиковые сосуды глубиной 8 см и диаметром 9 см. В сосуды вносили свинец в виде водного раствора уксуснокислой соли (Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O). Дозы свинца составили: 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 мг/кг почвы. После внесения свинца почву в сосудах тщательно перемешивали и увлажняли дистиллированной водой до 60% от полной влагоемкости.

Для сравнения уровней фиксации почвой внесенного свинца проводили компостирование в течение 7 и

30 сут со дня добавления металла в почву. Во время компостирования почву ежедневно увлажняли дистиллированной водой и рыхлили.

В качестве биогестера использовали семена пшеницы (сорт «Бурятская-79»). В каждый сосуд помещали 16 семян, предварительно замоченных в воде в течение суток, на глубину 1 см. В процессе компостирования почв и проращивания семян поддерживали постоянную температуру +20°C.

Для оценки влияния загрязнения почвы свинцом на прорастание семян использовали следующие показате-

ли: всхожесть, энергия, дружность и продолжительность прорастания [14]. Под всхожестью понимали число семян, проросших за 7 сут, выраженное в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания, под энергией прорастания – количество семян, проросших за первые 3 сут проращивания в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания. Для более точной характеристики скорости прорастания проводили ежедневный учет проросших семян и рассчитывали дружность и продолжительность прорастания. При этом дружность прорастания определяли по формуле

$$Д = П \div А,$$

где Д – дружность прорастания (средний процент семян, проросших за 1-е сут прорастания), %; П – полная всхожесть, %; А – число дней прорастания; а продолжительность прорастания – по формуле

$$С = \frac{(a \times 1) + (b \times 2) + (v \times 3) + (z \times 4) + \dots}{(a + b + v + z + \dots)},$$

где С – продолжительность прорастания (средняя продолжительность прорастания одного семени), сут.; а – число семян, проросших за 1-е сут; б – число семян, проросших за 2-е сут; в – число семян, проросших за 3-и сут; г – число семян, проросших за 4-е сут и т.д.

Кроме показателей прорастания, определяли интенсивность начального роста семян, наиболее полно характеризующую жизнеспособность растений.

О токсичности почвы судили по разнице показателей между незагрязненной (контрольной) почвой и вариантами опыта с внесением свинца. Для оценки достоверности различий между вариантами опыта вычисляли наименьшую существенную разность при  $P \leq 0,05$ .

### Результаты исследований и их обсуждение

Согласно полученным результатам, возрастающие дозы свинца приводили к снижению всхожести и энергии прорастания семян пшеницы при дозе 3 200 мг/кг при компостировании почвы в течение 7 сут (табл. 2). Увеличение сроков компостирования почвы с 7 до 30 сут снизило токсичное действие металла, что особенно сильно проявилось по отношению к энергии прорастания.

Если при дозе свинца 3200 мг/кг почвы при 7 сут компостирования всхожесть и энергия прорастания снижались по отношению к контролю на 17 и 31%, то при 30 сут это снижение составило только 4% для всхожести и 0% для энергии прорастания.

Таблица 2

Всхожесть и энергия прорастания семян пшеницы с различными сроками компостирования почвы

Доза свинца, мг/кг почвы	Всхожесть		Энергия прорастания	
	%	% от контроля	%	% от контроля
7-е сут компостирования				
0 (контроль)	97	–	98	–
50	98	102	100	102
100	98	102	98	100
200	98	102	98	100
400	100	103	100	102
800	98	102	100	102
1600	97	100	97	98
3200	80	82	67	68
НСР <sub>0,05</sub>	3,4	–	–	–
30-е сут компостирования				
0 (контроль)	98	–	100	–
50	98	100	98	98
100	98	100	100	100
200	98	100	100	100
400	100	102	100	100
800	98	100	100	100
1600	98	100	100	100
3200	94	95	100	100
НСР <sub>0,05</sub>	4,7	–	–	–

Дружность прорастания семян (рис. 1, а) достоверно снизилась только при максимальной дозе свинца (3 200 мг/кг). Увеличение срока компостирования, как и в случае со всхожестью и энергией прорастания, привело к снижению токсичного действия металла на данный показатель.

Наиболее информативным среди показателей прорастания семян в условиях модельного загрязнения почв свинцом оказался показатель продолжительность прорастания (рис. 1, б). Согласно полученным данным, средняя продолжительность прорастания одного семени значительно увеличилась при внесении возрастающих доз металла, особенно при 7 сут компостирования почвы.

Изменение длины и массы корневой и надземной частей проростков пшеницы в зависимости от концентрации свинца и сроков компостирования почвы представлено на рис. 2 и 3.

Действие свинца достоверно проявлялось на всех вариантах эксперимента, начиная с наименьшей концентрации – 50 мг/кг почвы. Оба показателя достоверно увеличивались до дозы 100 мг/кг, а при последующих дозах – закономерно снижались. Влияние продолжительности компостирования при этом выглядело следующим образом: при увеличении срока с 7 до 30 сут стимулирующий эффект свинца проявился сильнее, а токсичное действие – слабее.

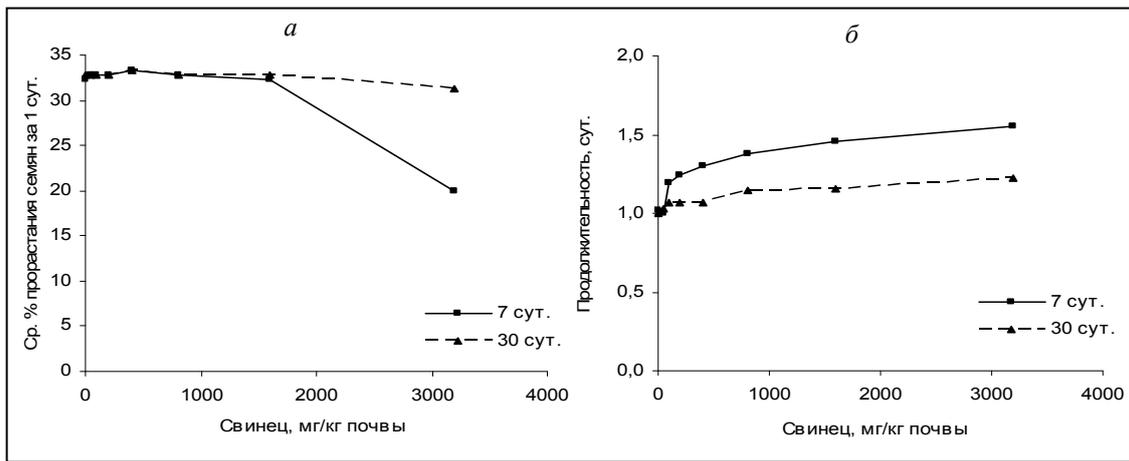


Рис. 1. Дружность (а) и продолжительность прорастания (б) семян пшеницы в зависимости от концентрации свинца и сроков компостирования почвы

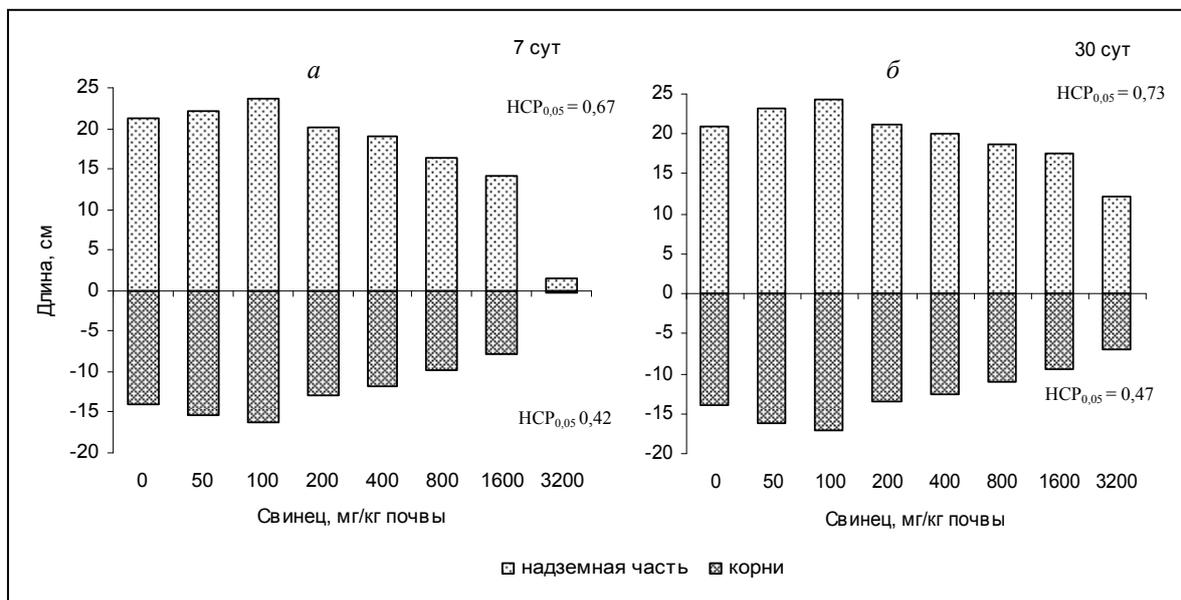


Рис. 2. Длина проростков пшеницы, в зависимости от концентрации свинца и сроков компостирования почвы (длительность выращивания 14 сут)

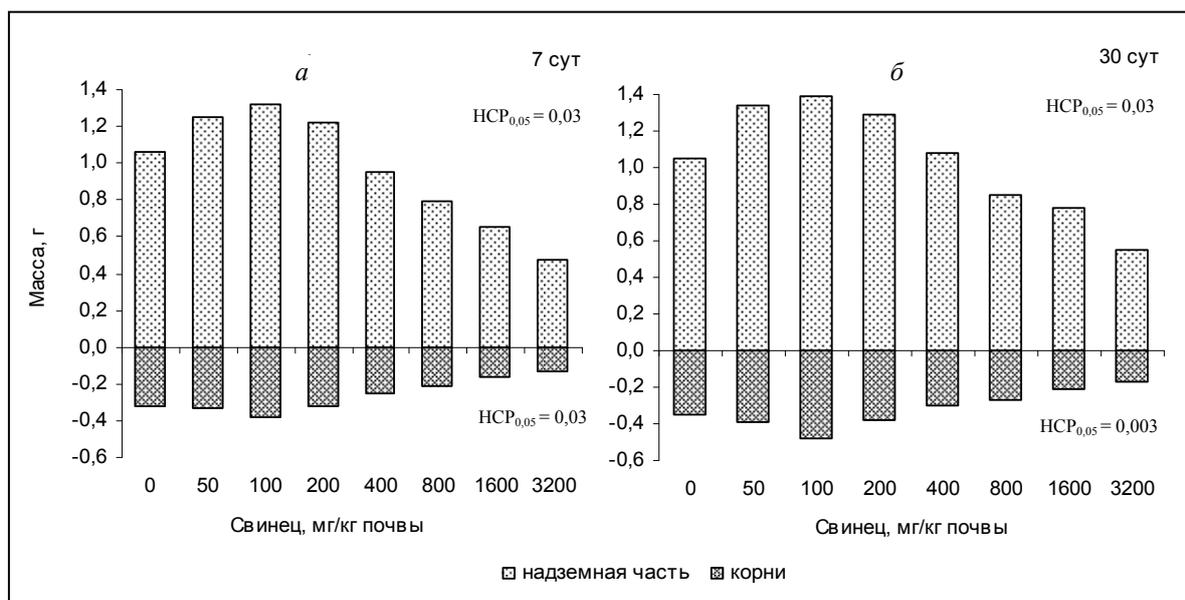


Рис. 3. Масса наземной части и корней проростков пшеницы в зависимости от концентрации свинца и сроков компостирования почвы (длительность выращивания 14 сут)

По современным представлениям свинец не является физиологически необходимым элементом для растений [6, 15]. Однако есть и другое мнение, согласно которому свинец следует относить к «условно» необходимым до тех пор, пока его роль для живых организмов до конца не изучена [3]. Кроме того, в отдельных исследованиях приводятся данные, подтверждающие необходимость этого элемента для растений и животных [1, 4, 16, 17].

Несмотря на отсутствие единой позиции в этом вопросе, в литературе приводится достаточно много данных, свидетельствующих о стимулирующем действии этого металла на рост и развитие растений при относительно невысоких его концентрациях в почвах [10, 11, 15, 18 и др.], что также подтверждается данными наших исследований. При этом остается неясным, следует ли считать такое стимулирование положительным влиянием свинца на растения.

Анализ литературы показал, что стимулирующее воздействие проявляется чаще в экспериментах, проводимых на высокобуферных почвах и субстратах. Вероятно, это может быть связано с тем, что свинец, связываясь компонентами почвы, вытесняет из органоминеральных комплексов биофильные элементы, улучшая тем самым питание растений. С другой стороны, есть также предположение, что слаботоксичные дозы свинца стимулируют механизмы увеличения биомассы растений для достижения так называемого эффекта «разбавления». Судя по данным [7, 10], низкобуферные почвы не способны в такой же степени улучшать показатели роста и развития растений и снижать токсичность металла.

Токсичное влияние свинца на растения, по мнению ряда авторов [5, 10, 11, 19, 20], возникает при концентрации его в почве в количестве 1 000–2 000 мг/кг. Существенное влияние на степень токсичности металла оказывают свойства почв и растений [21]. Результаты исследований, проведенных на аллювиальных дерновых почвах, показали, что токсичной для кресс-салата была концентрация свинца, равная 500 мг/кг, для моркови – 1 000 мг/кг почвы [7]. Доза свинца, равная 500 мг/кг, вызывала гибель наиболее чувствительных к тяжелым металлам растений овса [11, 22]. В.Ф. Вальковым с соавт. [15] в опытах на черноземе показано, что свинец в концентрациях 100–10 000 мг/кг не оказал токсического действия на показатели прорастания семян озимой пшеницы, а напротив, вызвал наибольший стимулирующий эффект по сравнению с кадмием, медью, цинком и ртутью. В наших исследованиях на дерново-подбуре мы также отмечали стимулирующий эффект, который, однако, проявился только при дозах до 100–200 мг/кг, а при дальнейшем увеличении доз до 3 200 мг/кг, произошло резкое снижение высоты и биомассы растений. Такие существенные различия обусловлены, прежде всего, различной буферностью почв, т.к. прочие условия экспериментов: культура; химическая форма металла, в которой он вносился в

почвы; сроки компостирования, агротехника и прочее, – были достаточно схожими.

С течением времени в почве происходит закрепление подвижных соединений тяжелых металлов, результатом чего является увеличение толерантных концентраций, а также концентраций, приводящих к гибели растений, к снижению урожаев и к превышению ПДК, что подтверждается результатами разных исследователей [9, 19]. В нашем эксперименте мы также наблюдали уменьшение токсичности свинца при 30 сут компостирования почвы, по сравнению с 7 сут, которое выражалось в увеличении дружности и продолжительности прорастания семян, длины и массы надземной и корневой частей проростков пшеницы. При этом изученные сроки компостирования практически не повлияли на всхожесть и энергию прорастания, за исключением варианта с максимальной дозой элемента (3 200 мг/кг). Очевидно, это связано с тем, что свинец по геологической классификации относится к халькофильным элементам, входящим в состав сульфидов. Поступая с техногенными выбросами в автоморфные почвы, он быстро переходит в новые формы, устойчивые в кислотно-основных и окислительно-восстановительных условиях, среди которых основную долю составляют прочносвязанные металл-органические комплексы [10, 23]. Таким образом, связываясь почвами, свинец достаточно быстро теряет подвижность, биодоступность и, соответственно, становится менее токсичным для растений.

Показатели всхожести, энергии и дружности прорастания семян, по результатам эксперимента, оказались малочувствительными и менее информативными по сравнению с продолжительностью прорастания семян, длиной и массой проростков. Длина и масса корней оказались более чувствительными к загрязнению почв свинцом: при нетоксичных концентрациях металла развитие корней стимулировалось слабее, а при токсичных – угнеталось сильнее, чем надземной массы.

На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Свинец в зависимости от его концентрации в почве стимулировал, проявлял нейтральное действие или угнетал прорастание семян и рост проростков пшеницы. Стимулирующее влияние свинца проявилось при дозах 50–200 мг/кг почвы. Увеличение доз до 400–3 200 мг/кг привело к угнетению показателей прорастания и особенно росту и формированию биомассы проростков. В изученном диапазоне концентраций (50–3 200 мг/кг) не отмечено летального воздействия металла на пшеницу.

2. Увеличение срока компостирования почвы с 7 до 30 сут усилило стимулирующий эффект небольших доз свинца и снизило токсичное действие более высоких.

3. Наиболее информативными показателями при изучении фитотоксичности возрастающих доз свинца при различных сроках компостирования почвы оказались продолжительность прорастания семян, а также длина и биомасса проростков пшеницы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А.П. и др. Микроэлементозы человека: экология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. С. 54, 55.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Пролетарский светоч, 1991. 150 с.

3. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
5. Колесникова Т.В. О влиянии свинца на рост и развитие растений // Свинец в окружающей среде. Гигиенические аспекты. М.: Наука, 1978. С. 17–21.
6. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.
7. Убузунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2004. 128 с.
8. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 208 с.
9. Черных Н.А., Ладонин В.Ф. Нормирование загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 1995. № 6. С. 71–79.
10. Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К. Транслокация свинца в растения овса // Агрехимия. 2006. № 2. С. 71–70.
11. Степанов В.В. Влияние высоких доз свинца на элементный состав растений // Агрехимия. 1998. № 7. С. 69–76.
12. Убузунов В.Л., Гармаев А.М., Доржонова В.О. Трансграничные аспекты техногенного загрязнения природной среды промышленными узлами Республики Бурятия // Материалы Международной научной конференции «Трансграничные аспекты использования природно-ресурсного потенциала бассейна р. Селенги в новой социально-экономической и геополитической ситуации (26–28 июня, 2006 г.)». Улан-Удэ: ГУЗ РЦМП МЗ РБ, 2006. С. 176–180.
13. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрехимия. 1995. № 10. С. 109–113.
14. Гриценко В.В., Калошина З.М. Семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1984. 272 с.
15. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксичность чернозема // Агрехимия. 1997. № 6. С. 50–55.
16. Ильин В.Б. К вопросу о разработке ПДК тяжелых металлов // Агрехимия. 1985. № 9. С. 90–98.
17. Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных. Л.: Агропромиздат, 1985. 207 с.
18. Власюк П.А. Химические элементы и аминокислоты в жизни растений и животных. Киев: Наукова думка, 1974. 88 с.
19. Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К., Абашина Н.А., Пинский Д.Л. Влияние свинца на морфометрические показатели овса // Агрехимия. 2004. № 8. С. 48–53.
20. Баздырев Г.И., Пронина Н.Б., Родригес Д.Р. Тяжелые металлы в системе почва–растение на склоновых землях // Известия ТСХА. 2001. Вып. 2. С. 81–104.
21. Черных Н.А., Черных И.Н. О качестве растениеводческой продукции при разных уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 1995. № 5. С. 97–101.
22. Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н. Оценка токсического действия тяжелых металлов (свинца) на растения овса // Агрехимия. 1981. № 1. С. 103–109.
23. Водяницкий Ю.Н. Роль почвенных компонентов в закреплении техногенных As, Zn, и Pb в почвах // Агрехимия. 2008. № 1. С. 83–91.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 23 августа 2010 г.