

УДК 631.8:630.182.8

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО  
(*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L.) ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ  
С ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ**

**Татьяна Николаевна Большева<sup>1</sup>, Виктор Александрович Касатиков<sup>2</sup>,  
Абакар Абдулай Умар<sup>3</sup>**

*ВНИИ органических удобрений и торфа*

*601390, Владимирская обл., Судогодский р-н, пос. Вяткино, ул. Прянишникова, д. 2*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12*

<sup>1</sup> – к.б.н., доц. каф. агрохимии и биохимии растений ф-та почвоведения МГУ

<sup>2</sup> – д.с.х.н, гл. вед. сотр. ВНИПТИОУ

<sup>3</sup> – аспирант каф. агрохимии и биохимии растений ф-та почвоведения МГУ

*В длительном полевом мелкоделяночном опыте с различными уровнями полиметаллического загрязнения почвы была оценена возможность использования люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) в качестве культуры-фиторемедиатора. Установлено, что люпин узколистный является перспективной культурой для фиторемедиации сильнозагрязненных почв. Это растение может накапливать кадмий и никель, известкование снижает аккумуляцию никеля данной культурой.*

Ключевые слова: *загрязнение почвы, тяжелые металлы, фиторемедиация, люпин узколистный, *Lupinus angustifolius* L.*

Реабилитация почв с полиметаллическим загрязнением с помощью растений является самым дешевым и экологически оправданным способом. В настоящее время изучено около 420 видов растений, применяемых для фиторемедиации почв с разными типами загрязнения [1]. Однако для каждого конкретного случая загрязнения необходим подбор наиболее приемлемой и эффективной культуры, с учетом климатических условий, типа почв, уровня загрязнения [2]. Люпин узколистный рассматривается многими авторами как перспективный фиторемедиатор для песчаных почв, и особенно для территорий с холодным и дождливым летом [3, 4, 5, 6]. Привлекательность использования люпина узколистного для фитоэкстракции тяжелых металлов (ТМ) из почвы заключается в способности его корневой системы растворять и поглощать труднорастворимые фосфаты металлов. Этому способствует выделение корневой системой растения анионов органических кислот. Однако в работе [4] при сравнении поглощения кадмия люпином и злаковыми растениями, делается предположение, что выделяемые люпином органические кислоты, в частности лимонная и яблочная, образуют с кадмием комплексные соединения, которые не поглощаются самими растениями люпина. Этот же автор утверждает, что увеличение содержания фосфора в почве и нейтральная реакция почвенного раствора могут снижать поступление кадмия в растения люпина. О влиянии обеспеченности почв фосфором на по-

глощение растениями ТМ сообщается многими авторами, причем указывается, что высокое содержание доступных форм фосфора в почве снижает фитоэкстракцию свинца и никеля [4, 5].

Целью настоящего исследования являлось изучение накопления кадмия, свинца и никеля наземной биомассой растений люпина узколистного, выращиваемого на почвах с высоким уровнем полиметаллического загрязнения и на двух известковых фонах.

**Методика.** Исследования проводились в опытном хозяйстве ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа (ВНИИОУ) (Владимирская обл., пос. Вяткино) в стационарном полевом опыте Географической сети, занесенном в Реестр Россельхозакадемии. Опыт был заложен в 1984 г. на агродерново-подзолистой супесчаной почве. В почву в период с 1984 по 2010 гг., систематически вносили осадки сточных вод (ОСВ) очистных сооружений г. Владимир в сочетании с периодическим известкованием доломитовой мукой в дозах 3 и 9 т/га. Суммарные дозы ОСВ за период проведения опыта составили 165–1320 т/га (50 % влажности). В результате длительного применения ОСВ в почве вариантов были созданы различные уровни полиметаллического загрязнения: валовое содержание кадмия в почве при внесении за весь период проведения опыта 165 т/га ОСВ (низкая доза) составило 3,8–4,3 мг/кг (8 ОДК), а на фоне 1320 т/га–9,5–10,6 мг/кг (20 ОДК). Валовое содержание

**1. Влияние длительного применения ОСВ и доломитовой муки на урожай зеленой массы люпина, ц/га.**

Варианты опыта	2001 г.	2013 г.	2015 г.
	Контроль	135,0	84,0
ОСВ 165 т/га + известь 3 т/га	154,9	92,0	94,2
ОСВ 1320 т/га + известь 3 т/га	165,0	105,4	107,4
ОСВ 165 т/га + известь 9 т/га	164,2	92,0	93,8
ОСВ 1320 т/га + известь 9 т/га	165,3	106,0	108,1
<i>HCP<sub>0,05</sub></i>	4,2	5,1	9,1

свинца в вариантах с низкой дозой ОСВ составило 18–20 мг/кг, то есть находилось на уровне ОДК, а при использовании высокой дозы ОСВ – 89–88 мг/кг (4 ОДК). Валовое содержание никеля было ниже ОДК в вариантах с низкой дозой ОСВ (16–18 мг/кг) и находилось на уровне ОДК в вариантах с высокой дозой ОСВ (34–37 мг/кг). Обе дозы доломитовой муки практически не повлияли на общее содержание ТМ в почве. Люпин узколистный выращивался в опыте в 2001, 2013, 2015 гг. Последние 2 года характеризовались повышенным увлажнением, что было определяющим фактором увеличения полученной биомассы (табл. 1).

**Результаты и обсуждение.** При длительном использовании ОСВ почва вариантов опыта была обогащена питательными элементами, особенно фосфором, содержание которого оценивалось как высокое во всех вариантах опыта, кроме контрольного. В 2001 г. продуктивность люпина была наивысшей по сравнению с другими годами исследования. В 2013 г., и особенно в 2015 г., растения испытывали стресс из-за сильного переувлажнения почвы. Однако во все годы наблюдалась прибавка урожая зеленой массы люпина с ростом дозы ОСВ, величина дозы доломитовой муки достоверно не повлияла на величину прибавки урожая (табл. 1).

В накоплении люпином узколистным кадмия, никеля и свинца прослеживаются закономерности, обусловленные уровнем загрязнения почвы, дозами извести и погодными условиями.

**Кадмий.** В годы со сходными погодными условиями (2001, 2013 гг.) наблюдалось максимальное накопление кадмия в биомассе, причем содержание кадмия в растениях коррелировало с его со-

держанием в почве. Известкование достоверно не влияло на накопление элемента растениями. В 2015 г. наблюдалось 3–7-кратное снижение содержания кадмия в надземной массе люпина во всех вариантах по сравнению с 2013 г. Причину этого явления необходимо дополнительно изучать, возможно это связано с изменением поглощающей системы корней при переувлажнении. В вариантах с высокой дозой доломитовой муки эта тенденция выражена более четко.

**Никель.** Как указывалось в ряде работ, бобовые культуры могут накапливать значительно больше никеля, чем растения других семейств [7]. Максимальное накопление никеля растениями люпина наблюдалось в 2001 и 2013 гг., причем прослеживалась корреляция между содержанием никеля в почве и в биомассе растений. Если на накопление кадмия растениями люпина доза извести не оказывала значимого влияния, то накопление никеля растениями люпина существенно снижалось при увеличении дозы извести во все годы наблюдений. Таким образом, известкование снижает способность люпина извлекать никель из почвы, поэтому применение этого мелиоранта нежелательно на территориях, где планируется или проводятся мероприятия по фиторемедиации почв.

**Свинец.** В наиболее благоприятный для роста и развития люпина год (2001) содержание свинца в надземной биомассе практически находилось на уровне контроля. В годы с повышенным увлажнением почвы наблюдалось резкое увеличение поступления свинца в надземную массу: в вариантах с низкой дозой ОСВ содержание свинца в зеленой массе в 2–5 раз превышало контрольное значение, а при высоких дозах ОСВ – примерно в 4–10 раз. Достоверного влияния известкования на поступление свинца в растения в годы исследований не было выявлено. Вероятно, при неблагоприятных погодных условиях (длительное переувлажнение почвы в 2013, 2015 гг.) и полиметаллическом загрязнении растения испытывали двойной стресс, связанный с высокой концентрацией биодоступных форм ТМ в почве и с недостатком кислорода. Это, с свою очередь, привело к ослаблению защитных функций растений, препятствующих поступлению ТМ в надземные органы.

**2. Влияние ОСВ и доломитовой муки на содержание Cd, Ni, Pb в растениях люпина узколистного, мг/кг сухого вещества**

Варианты опыта	Cd			Ni			Pb		
	2001 г.	2013 г.	2015 г.	2001 г.	2013 г.	2015 г.	2001 г.	2013 г.	2015 г.
Контроль	0,03	0,18	0,06	0,39	0,87	0,25	0,10	0,11	0,12
ОСВ 165 т/га + известь 3 т/га	1,13	1,84	0,50	2,01	1,78	1,00	0,11	0,40	0,50
ОСВ 1320 т/га + известь 3 т/га	1,92	2,85	0,56	5,75	8,40	6,56	0,11	0,68	0,56
ОСВ 165 т/га + известь 9 т/га	1,12	1,40	0,20	1,52	0,72	1,03	0,12	0,40	0,20
ОСВ 1320 т/га + известь 9 т/га	1,82	1,64	0,37	3,52	5,8	4,47	0,12	1,2	0,37

**Заключение.** Люпин обладает высокой устойчивостью к полиметаллическому загрязнению почв – величина урожая зеленой массы данной культуры определялась уровнем содержания питательных элементов в почве и погодными условиями. Известкование не оказало негативного влияния на величину биомассы люпина.

Растения люпина узколистного на почвах, загрязненных в результате длительного применения ОСВ, аккумулируют большее количество элементов-загрязнителей, чем растения фоновых территорий. Люпин следует рассматривать как перспективное растение-фиторемедиатор для почв, загрязненных никелем и кадмием. Известкование снижает поступление никеля в растения люпина узколистного.

Изучение баланса ТМ в пахотном горизонте супесчаной агродерново-подзолистой почвы позволяет заключить, что отчуждение ТМ растениями является второй по значимости расходной статьей их баланса – потери поллютантов из пахотного слоя почвы происходят с внутрипочвенным стоком.

#### Литература:

1. Wuanal R.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International

Scholarly Research Network ISRN Ecology. – 2011. – V. 2011. – 20 p. URL: <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>. Дата обращения: 14.09.16.

2. Dickinson N.M., Baker A.J.M., Doronila A., Laidlaw S., Reeves R.D. Phytoremediation of inorganics: realism and synergies. – Int. J. Phytoremediation. – 2009. – V. 11. – PP. 97–114. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/15226510802378368>. Дата обращения: 14.09.16.

3. Довбан К.И. Зеленые удобрения в современном земледелии: вопросы теории и практики. – Минск: Белорусская наука, 2009. – 404 с.

4. Roemer W., Kang D., Egle K., Gerke J., Keller H.. The acquisition of cadmium by *Lupinus albus* L., *Lupinus angustifolius* L., and *Lolium multiflorum* Lam. – J. of Plant Nutr. and Soil Sci. – 2000. – V. 163. – PP. 623–628.

5. Trejo N., Matus I., Pozo A., Walter I., Hirzel J. Cadmium phytoextraction capacity of white lupine (*Lupinus albus* L.) and narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) in three contrasting agroclimatic conditions of Chile. – Chilean J. Agric. Res. – 2016. – V. 76, No. 2. – PP. 228–235.

6. Fumagalli P., Comolli R., Ferre Ch., Ghiani A., Gentili R., Citterio S. The rotation of white lupin (*Lupinus albus* L.) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. – Journal of Environmental Management. – 2014. – V. 145. – PP. 35–42.

7. Большеева Т.Н., Валитова А.П. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами в результате длительного применения сточных вод / Экологическая агрохимия. – М.: МГУ, 2011. – С. 112–132 с.

**Bolysheva T.N., Kasatkov V.A., Abakar Abdulaie Umar**

### **THE APPLYING OF BLUE LUPIN (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L.) FOR PHYTOREMEDIATION OF SOILS WITH POLYMETALLIC POLLUTION**

*In long-term field experiment on soils with different levels of soil contamination with heavy metals the opportunity of applying *Lupinus angustifolius* L. for phytoremediation was examined. *Lupinus angustifolius* L. was shown to be a promising crop for phytoremediation due to Cd and Ni accumulation in the biomass. The accumulation of Ni by blue lupin was restricted by liming.*

Keywords: soil contamination, heavy metals, phytoremediation, blue lupin, *Lupinus angustifolius* L.