

# ФОРМИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЬНОМ-ДОЛГУНЦОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

## FORMATION CYCLES OF CHEMICAL ELEMENTS OF FIBER FLAX AT DIFFERENT LEVELS OF NITROGEN NUTRITION

**V. Zubkova**  
**N. Belozubova**  
**A. Malashenkov**  
**E. Khanipova**

*Summary.* this article discusses the formation of cycles of specific chemical elements, depending on the levels of nitrogen nutrition on the basis of experiments conducted on farmland Russian State Agrarian Correspondence University (RSACU). It is known that when an unjustified increase in the content of his soil possibility of significant adverse impacts on the biosphere — soil, water, air, plants, and through them — in animals and humans. A special role is to optimize the power plant gets nitrogen in conditions of anthropogenic impact on the soil, when violated the required level of the exchange of matter and energy, and then it may have to go about this strain of human exchange.

The results of research presented in the article show that depending on the level of nitrogen supply was varied in the soil nitrogen and mineral micronutrients potentially available forms. Moreover, different levels of nitrogen had no significant effect on the toxic condition of the soil. Involvement of trace elements in the biological cycle was determined, first of all, of their biological importance for plants. In connection with what is potentially available forms of cadmium, lead, copper, nickel, zinc, manganese up a significant percentage of gross in these soils, and also because together they represent a group of elements — contaminants with substantially different from each other properties and behavior in the soil, to identify potential competitive relationship between them was tracked mobilization effect of nitrogen fertilizers on the content of available forms.

*Keywords:* nitrogen fertilizers, heavy metals, mineral forms of nitrogen, pollutants, biogenic cycles of chemical elements.

**Зубкова Валентина Михайловна**

Д.б.н., профессор, РГСУ, г. Москва  
vzubkova@rambler.ru

**Белозубова Наталья Юрьевна**

К.б.н., доцент, РГСУ, г. Москва

**Малашенков Артур Альбертович**

Аспирант, РГСУ, г. Москва

**Ханипова Элина Ринатовна**

Аспирант, РГСУ, г. Москва

*Аннотация.* в данной статье рассматривается формирование круговоротов конкретных химических элементов в зависимости от уровней азотного питания на основе опытов, проведённых на сельскохозяйственных угодиях Российского государственного аграрного заочного университета (РГАЗУ). Известно, что при необоснованном увеличении содержания азота в почве возможны существенные негативные воздействия на биосферу — почву, воду, атмосферу, растения, а через них — на животных и на человека. Особую роль оптимизация питания растений азотом приобретает в условиях техногенной нагрузки на почву, когда нарушается необходимый уровень обмена вещества и энергии, и тогда речь уже может идти об антропогенной деформации этого обмена.

Результаты исследований, приведенные в статье, показывают, что в зависимости от уровня азотного питания изменялось содержание в почве минерального азота и потенциально доступных форм микроэлементов. При этом различные уровни азота не оказали существенного влияния на токсическое состояние почвы. Вовлечение микроэлементов в биологический круговорот определялось, в первую очередь, их биологической значимостью для растений. В связи с тем, что потенциально доступные формы кадмия, свинца, меди, никеля, цинка, марганца составляют существенную долю от валовых в исследуемых почвах, а также потому, что в совокупности они представляют группу элементов — загрязнителей, с существенно отличающимися друг от друга свойствами и поведением в почве, для выявления возможных конкурентных взаимоотношений между ними, было отслежено мобилизационное действие азотных удобрений на содержание их доступных форм.

*Ключевые слова:* азотные удобрения, тяжелые металлы, минеральные формы азота, элементы-загрязнители, биогенные циклы химических элементов.

## ВВЕДЕНИЕ

**П**родуктивность земледелия и животноводства, в первую очередь, определяется уровнем обеспеченности почв сельскохозяйственных угодий азотом.

Азотные удобрения не только повышают продуктивность сельскохозяйственных растений, восполняя запасы азота для питания растений и поддерживая

почвенное плодородие, но и выполняют определенные экологические функции в агроэкосистемах, в том числе регулируют круговорот биогенных элементов в агроценозах. Так же они оптимизируют параметры показателей плодородия и основных химических и физико-химических свойств почв и улучшают химический состав и питательную ценность продукции растениеводства (Спицына, Томаровский, Оствальд, 2014). Однако, при необоснованном увеличении содержания

азота в почве возможны существенные негативные воздействия на абиотические и биотические компоненты биосферы.

Основными видами неблагоприятного влияния азотных удобрений могут быть загрязнение поверхностных и грунтовых вод соединениями азота, Попадание азота из удобрений и почвы в грунтовые и поверхностные воды может приводить к эвтрофикации природных водоемов и загрязнению источников питьевого водоснабжения населения, нарушению круговорота и баланса питательных элементов; ухудшению химических и физических свойств почвы; снижению продуктивности сельскохозяйственных растений и качества получаемой продукции; ухудшению фитосанитарного состояния посевов, развитию болезней растений (Мотузова, Карпова, 2013).

Нитраты являются предшественниками нитрозаминов — сильнейших канцерогенов, образующихся в природной среде, продуктах питания и в организме человека и животных. Доказан эндогенный синтез нитрозаминов у животных и человека, в частности в кислой среде желудочного сока из нитратов и вторичных аминов или амидов.

Однако необходимо отметить, что в развитых странах Западной Европы проблема возможного загрязнения нитратами растениеводческой продукции и природных вод возникла лишь в последнее время — через 100–150 лет систематического применения удобрений в высоких дозах. Лишь переизбыток производства сельскохозяйственной продукции и развитие движения «зеленых» вынудили эти страны несколько сократить уровень применения удобрений и перейти на «экологически безопасные» биологические системы земледелия, которые затронули всего 1% сельскохозяйственных угодий. При отказе от применения минеральных удобрений и пестицидов продуктивность сельскохозяйственного производства значительно снижается.

Помимо основных компонентов удобрения (элементов питания) в их составе могут присутствовать примеси тяжелых металлов и металлоидов. Уровень их содержания зависит от качества исходного сырья и технологии его переработки (Алексеев, 1987).

Длительное внесение минеральных удобрений может приводить к накоплению некоторых тяжелых металлов и металлоидов в почвах агроэкосистем и сельскохозяйственной продукции, но азотные удобрения, с точки зрения содержания токсикантов, в том числе, тяжелых металлов наиболее безопасные удобрения (Зубков, Зубкова, 2010). Производство их базируется на синтетиче-

ском аммиаке, поэтому они практически не содержат примесей.

Важно отметить, что в условиях техногенной нагрузки на почву происходит нарушение энергетического обмена и круговоротов веществ, именно в этих условиях оптимизация процесса питания растений азотом приобретает особую роль (Безель, Жуйкова, 2010). В почвах с высоким региональным фоном тяжелых металлов применение минеральных удобрений может приводить к накоплению металлов в сельскохозяйственных растениях выше ПДК.

Известно, что у растений способность к поглощению, накоплению и использованию химических элементов генетически детерминирована. Поэтому скорость поступления питательных элементов и их соотношение имеют видовую и сортовую специфику. Но в пределах одной генотипической формы характер их поглощения под воздействием внешних условий может заметно меняться (Ильин, 1985). Решающую роль при этом играет концентрация элементов в субстрате и связанное с ней соотношение химических элементов в окружающей среде (Барсукова, Гамзикова, 1999). Последнее условие в значительной степени определяет сложный и малоизученный вопрос об антагонизме и синергизме ионов при поступлении их в растение.

Антагонизм возникает, когда совместное физиологическое действие одного или более элементов менее суммы действия элементов, взятых по отдельности, а синергизм — когда совместное действие больше. Такие взаимодействия можно связать со способностью одного элемента ингибировать или стимулировать поглощение других элементов растениями (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Все эти реакции весьма переменчивы. Они могут происходить внутри клеток, на поверхности мембран, а также в среде, окружающей корни растений. Процессы взаимодействия контролируются многими факторами, и их механизмы еще плохо изучены (Ullah, 2015).

Внесение физиологически кислых азотных удобрений может оказать большое влияние на доступность почвенных соединений токсикантов, в том числе, тяжелых металлов (ТМ) — важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку и определяющий необходимость проведения мелиоративных детоксикационных мероприятий.

В связи с этим, при изучении действия азота на самые разнообразные функции растительного организма, контроль накопления и локализации химических элементов

необходим для объяснения изменений в жизнедеятельности растительного организма.

Интенсивность формируемого растительностью биогенного обмена определяется видом химических элементов, содержанием в почве их доступных форм, видовыми особенностями растений в накоплении элементов и их продуктивностью (Минеев, Доспехов, Безель, Жуйкова, Мотузова и др., 2015)

При критическом уровне содержания тяжелых металлов в почве и невозможности получения сельскохозяйственной продукции с допустимым количеством тяжелых металлов в продуктивных органах необходимо использовать такие почвы для выращивания культур, продукция которых может быть использована в качестве сырья для промышленности, в том числе льна-долгунца (Зубков, Зубкова, 2015)

Цель работы заключалась в изучении влияния различных уровней азотного питания на формировании циклов Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn при выращивании льна-долгунца.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в 2015 году на землях бывшей фермы РГАЗУ с растениями льна-долгунца, сорт Антей (*Linum usitatissimum L.*). Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, характеризующаяся низким содержанием гумуса, слабокислой реакцией среды, высоким содержанием фосфора и повышенным — калия.

Схема опыта, представленная в последующих таблицах, включала фоновый вариант с внесением двойного суперфосфата и хлористого калия из расчета 9г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O на 1 м<sup>2</sup>. На фосфорно-калийном фоне изучено две дозы азота (3 и 6 г на 1 м<sup>2</sup>). Повторность опытов 6-и кратная. Расположение делянок осуществлялось методом рендомизированных повторений.

Определение нитратного азота проводили по ГОСТ 26951–86 (ионометрически); обменного аммония — по ГОСТ 26489 (фотокалориметрически) через 15, 30, 45, 60 и 90 дней после закладки опыта; тяжелые металлы определены атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре С 115–1М- по методике ЦИНАО (А.В. Кузнецов и др., 1992). Отобранные по основным фазам роста и развития растительные образцы анализировали по методике Скурихина, 1992 г.

Для определения содержания кадмия и других тяжелых металлов в течение вегетационного периода от-

бирали образцы растений льна в фазы «елочка», начало цветения, ранняя желтая спелость.

Для характеристики воздействия на растения уровней азотного питания использовали интегральный показатель нагрузки (загрязнения) (К):

$$K = 1/n \sum Ci / C_{фон}, \text{отн.ед.},$$

где  $C_i$  и  $C_{фон}$  — концентрации минеральных форм азота — N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) и потенциально доступных форм Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn в почве различных вариантов опыта; n — количество включенных в анализ химических элементов.

Участие растительности в формировании биогенного обмена химических элементов определяли через их вынос фитомассой:

$$P = \sum Ci \times Mi, \text{ г/га, где}$$

$C_i$  — концентрация  $i$  — го вида элемента, мг/кг;  $M_i$  — его фитомасса по надземным и подземным органам (корни), г/м<sup>2</sup> (Безель, Жуйкова, Доспехов, 1989)

Статистическую обработку данных осуществляли по Доспехову Б.А. (1989).

Погодные условия в год проведения исследования в целом были благоприятными для возделывания льна-долгунца. Средняя за сезон температура воздуха превысила норму на 1 градус, количество выпавших осадков практически не отличалось от многолетних значений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как показали результаты наших исследований, внесение азота изменяло содержание в почве, как его минеральных форм, так и потенциально доступных форм тяжелых металлов (табл. 1).

Содержание минеральных форм азота в почве увеличивалось с ростом доз удобрения и в разные сроки определения в 1,1–2,4 раза превышало содержание на фоновом варианте. В конце вегетации различий в содержании доступных для растений форм азота не выявлено.

Мобильная форма — источник химических элементов для метаболических реакций. В среде с высокой концентрацией любого химического элемента его избыточное поступление в растения неизбежно.

По результатам наших исследований изучаемые элементы можно разделить на 3 группы. К первой

Таблица 1. Среднее содержание минеральных форм азота и потенциально доступных форм тяжелых металлов при различных уровнях азотного питания, мг/ кг почвы

Варианты опыта/элемент	Сроки взятия образцов после внесения азота, дней				
	15	30	45	60	90
1. P120K120(PK)					
N	9,7±0,6	17,1±1,1	22,2±1,4	17,1±1,1	6,2±0,4
Cd	0,25±0,01	0,27±0,01	0,23±0,01	0,24±0,01	0,22±0,01
Pb	2,5±0,16	7,1±0,46	10,8±0,70	10,6±0,69	8,0±0,52
Zn	6,8±0,44	10,8±0,70	10,5±0,68	10,6±0,69	8,4±54,6
Cu	3,11±0,20	4,32±0,28	4,30±0,28	3,70±0,24	3,20±0,20
Ni	2,93±0,19	2,62±0,17	2,33±0,15	2,44±0,16	1,82±0,11
Mn	192±12,5	151±9,8	150±9,7	146±9,6	141±9,5
2. PK + N30					
N	13,8±0,9	20,9±1,3	34,3±2,2	22,1±1,4	5,2±0,3
Cd	0,39±0,02	0,31±0,01	0,26±0,01	0,25±0,01	0,23±0,01
Pb	1,9±0,12	6,4±0,4	7,3±0,5	6,1±0,3	6,0±0,3
Zn	6,7±0,43	11,4±0,77	10,3±0,76	10,4±0,76	8,1±0,50
Cu	4,27±0,27	4,57±0,29	4,18±0,27	3,17±0,20	3,20±0,21
Ni	2,72±0,18	2,89±0,19	2,36±0,17	2,40±0,17	2,05±0,13
Mn	192±12,4	151±9,7	149±9,6	153±9,9	143±9,4
3. PK + N60					
N	23,2±0,15	40,1±2,6	41,5±2,7	18,5±0,12	6,2±0,4
Cd	0,50±0,03	0,39±0,02	0,28±0,01	0,25±0,01	0,22±0,01
Pb	0,6±0,03	6,2±0,40	7,3±0,50	4,5±0,29	5,3±0,34
Zn	5,9±0,41	10,9±0,69	10,2±0,66	10,9±0,68	8,3±0,54
Cu	3,30±0,22	4,48±0,29	4,07±0,25	2,69±0,17	3,10±0,20
Ni	2,50±0,16	2,98±0,18	2,09±0,13	2,48±0,16	1,82±0,11
Mn	151±9,8	151±9,7	148±9,6	148±9,5	143±9,3

группе, характеризующейся увеличением количества потенциально доступных форм под действием азота, особенно в первоначальный период вегетации, можно отнести кадмий, содержание которого возрастало в начале исследований в 1,6–1,8; через 30 дней — в 1,1–1,4; 60 дней — 1,2–1,4 раза. Ко второй группе — элементы, существенно не изменя-

ющие своей подвижности, — медь, никель, а также цинк и марганец. Необходимо обратить внимание на более низкое содержание цинка в первые 15 дней исследований. Особенно усугубляла цинковую недостаточность доза азота 60 кг/га, возможно, вследствие иммобилизации цинка в виде цинк-аммоний-фосфата. В дальнейшем, в течение вегетации

Таблица 2. Содержание микроэлементов в растениях льна-долгунца при различных уровнях азотного питания, мг/кг а.с.м.

Варианты опыта	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn
1. P120K120(ПК)						
коробочки	0,28	1,65	59,4	10,67	1,45	38,5
соломка	0,53	2,64	14,3	3,19	1,33	22,0
корни	0,39	1,32	10,48	1,83	0,97	23,5
2. ПК + N30						
коробочки	0,33	1,87	58,3	11,44	1,57	36,3
соломка	0,52	1,98	15,4	3,09	1,45	28,6
корни	0,63	1,76	15,4	2,97	1,33	39,6
3. ПК + N60						
коробочки	0,35	1,87	60,5	11,66	1,33	39,6
соломка	0,51	1,87	17,6	3,19	1,45	25,3
корни	0,66	1,98	15,4	3,52	1,33	37,4

Таблица 3. Продуктивность растений льна-долгунца при внесении азотных удобрений\* (г/м<sup>2</sup>)

Варианты опыта	Корни	Соломка	Коробочки
1. P120K120(ПК)	$\frac{116}{14}$	$\frac{479}{57}$	$\frac{239}{29}$
2. ПК + N30	$\frac{163}{16}$	$\frac{582}{58}$	$\frac{260}{26}$
3. ПК + N60	$\frac{162}{15}$	$\frac{597}{56}$	$\frac{316}{29}$
НСР 05	11,8	36,1	24,5

\*В числителе — г/м<sup>2</sup>, в знаменателе —% от общей биомассы.

происходило восстановление содержания подвижных форм цинка, что может быть связано с термодинамической неустойчивостью его соединений в аэробных условиях. Практически неизменным на протяжении всего периода исследований оставалось содержание в почве марганца. Также как и по цинку, при большей дозе азота в первый период определения содержание потенциально доступных форм элемента существенно уменьшалось. К третьей группе элементов можно отнести свинец, количество подвижных форм которого под действием азота в отдельных вариантах опыта понижалось на 10–76%.

Расчет интегрального показателя нагрузки свидетельствует о том, что различные уровни азота не оказали существенного влияния на токсическое состояние почвы. Даже в первоначальный период исследования (15

дней после внесения азота) коэффициент загрязнения составил 1,15–1,17 относительных единицы.

Для понимания физиологической роли ТМ и обоснования необходимости практического применения удобрений на почвах, находящихся в зоне техногенной нагрузки, важное значение имеет изучение распределения ТМ по отдельным органам.

Внесение азота оказало влияние на барьерные функции отдельных органов льна-долгунца и формирование биогенных циклов химических элементов (табл. 2).

Под действием азота к периоду уборки льна увеличивалось содержание кадмия (на 61–69 — в корнях и 18–25% — в коробочках), свинца (в коробочках — на 13%), меди (на 62–92% — в корнях, на 7–9% — в коробочках), цинка (на 8–15% — в соломке).

Таблица 4. Вынос микроэлементов растениями льна-долгунца при различных уровнях азотного питания, г/га

Варианты опыта	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn
1. P120K120(PK)						
надземная масса	3,19	16,59	210,47	40,78	9,84	197,4
корни	0,5	1,53	12,16	2,12	1,13	27,26
2. PK + N30						
надземная масса	3,93	16,38	241,21	47,72	12,51	260,83
корни	1,03	2,87	25,10	4,84	2,17	64,55
3. PK + N60						
надземная масса	4,15	17,07	296,25	71,69	12,86	276,18
корни	1,07	3,21	24,95	5,70	2,15	60,59

Таблица 5. Соотношение микроэлементов в общем выносе их растениями льна-долгунца

Варианты опыта	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn
1. P120K120(PK)						
надземная масса	0,67	3,47	43,99	8,53	2,06	41,28
корни	1,12	3,42	27,21	4,74	2,53	60,98
2. PK + N30						
надземная масса	0,67	2,81	41,40	8,19	2,15	44,76
корни	1,02	2,85	24,96	4,81	2,16	64,20
3. PK + N60						
надземная масса	0,61	2,52	43,68	10,57	1,90	40,70
корни	1,10	3,29	25,54	5,84	2,20	62,03

Азотные удобрения не оказали существенного влияния на содержание в растениях никеля, цинка и марганца.

В условиях изменения уровня азотного питания в формировании биогенных циклов существенную роль играла биологическая значимость элементов. При относительно низком содержании таких элементов как кадмий, свинец, никель, отмечено, как правило, либо более низкое их содержание в коробочках, либо равномерное распределение по органам растений. Для меди, марганца, цинка, напротив, характерно существенное концентрирование в коробочках. Так, содержание цинка, меди и марганца в коробочках превосходило их содержание в соломке в 3,8–4,2; 3,3–3,9 и 1,3–1,8 раза соответственно. В корнях цинка содержалось меньше в 3,8–3,9 раза, меди — в 3,3–3,9 раза; содержание марганца в корнях находилось на уровне его содержания в коробочках.

Возрастающие дозы азота увеличивали биологическую продуктивность растений в 1,2–1,3 раза. При этом достоверно возростала масса репродуктивных

органов (табл. 3). Общее количество элементов, вовлекаемых в круговорот растениями льна, представлено в таблице 4.

Внесение азота в дозе 30 кг/га приводило к усилению отчуждения из почвы кадмия, свинца, цинка, меди, марганца надземной массой льна-долгунца. Увеличение дозы азота до 60 кг/га увеличивало отчуждение меди, вынос других микроэлементов надземной частью урожая практически не изменялся за исключением цинка, накопление которого находилось на уровне фонового варианта.

Вынос микроэлементов корнями также увеличивался при меньшей дозе азота. Необходимо отметить, что доля корней в биологическом выносе достигала по кадмию и марганцу 27%, свинцу, меди, никелю 23% и цинку — 15%, при этом азот не оказал существенного влияния на доле участие корней в общем выносе микроэлементов.

Влияние азотных удобрений на соотношение микроэлементов в общем выносе надземной массой и корнями

определялось обеими возможными причинами — как собственно фитохимической (соотношение микроэлементов в одноименных органах), так и морфологической (доля этих органов в общей биомассе растения).

Увеличение уровня азотного питания способствовало повышению доли кадмия, свинца и никеля в общем выносе их корнями (табл. 5).

Таким образом, азотные удобрения интенсифицировали циклы микроэлементов как за счет влияния на содержание потенциально доступных их форм в почве, так и благодаря усилению роста и развития растений.

## ВЫВОДЫ

Поглощенные микроэлементы распределялись в организме растений неравномерно, что обусловлено физиологической ролью каждого из них, спецификой биохимических процессов в различных частях

растения, концентрацией ионов в почвенном растворе. При продвижении ионов из корня в надземные органы независимо от уровня азотного питания действовали механизмы избирательного поглощения, приоритет при переходе принадлежал физиологически важным химическим элементам (цинку, меди, марганцу). К центрам метаболической деятельности пропускались, прежде всего, эти жизненно необходимые ионы. При этом генотипические пропорции химических элементов независимо от уровня азотного питания поддерживались как в надземной части, так и в корнях льна-долгунца.

С практической точки зрения представленные результаты, указывающие на отсутствие различий в эффективности действия удобрений при допустимом содержании тяжелых металлов в почве, позволяют рекомендовать традиционные подходы к определению доз азотных удобрений в условиях техногенной нагрузки на почву.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев — Ленинград: Агропромиздат. Ленингр. отд., 1987. — 142 с.
2. Барсукова В. С., Гамзикова О. И. Влияние избытка никеля на элементный состав контрастных по устойчивости к нему сортов пшеницы // *Агробиология*. 1999. № 1. С. 80–85.
3. Безель В. С., Жуйкова Т. В. Роль травянистых растительных сообществ в формировании биогенных циклов химических элементов // *Поволжский экологический журнал*, 2010. № 3. С. 219–229.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Зубков Н. В., Зубкова В. М. Азотные удобрения и динамика кадмия в системе «почва-растение» // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Естественные науки»*, 2012. № 1 (9). С. 52–61.
6. Зубков Н. В., Зубкова В. М. Накопление сухой массы и распределение в растениях тяжелых металлов при различной концентрации их в почве // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Естественные науки»*, 2010. № 2 (6). С. 43–56.
7. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. — Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: МИР. 1989. 439 с.
9. Линдиман, А. В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы / Линдиман А. В., Шведова Л. В., Н. В. Тукумова, А. В. Невский // *Экология и промышленность России* — 2008. — № 9 — С. 45–47.
10. Мартынячев, А. В. Применение фиторемедиации почв для очистки земель сельскохозяйственного назначения / А. В. Мартынячев // *Вестник НГИЭИ* — 2012. — № 10 — С. 56–63.
11. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.
12. Мотузова Г. В., Карпова Е. А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. — М.: Издательство Московского университета, 2013. — 304 с.
13. Серегин, И. В. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция / И. В. Серегин, А. Д. Кожевникова // *Физиология растений* — 2008. — № 1 — С. 3–26.
14. Спицына С. Ф., Томаровский А. А., Оствальд Г. В. Физиологические барьеры при поглощении меди, цинка и марганца растениями из почвы в условиях равнинной части Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2014. № 7 (117). С. 56–59.
15. Singh, R. Heavy metals and living systems: An overview. / R. Singh, N. Gautam, A. Mishra, R. Gupta // *Indian J. Pharmacol.* — 2011. — V. 43 — № 3 — P. 246–253.
16. Ullah, A. Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: a review / A. Ullah, S. Heng, M. F. H. Munis, S. Fhad, X. Yang // *Environ. Exp. Bot.* — 2015. — V. 117 — P. 28–40.
17. Yadav, S. K. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants / S. K. Yadav // *South African J. Bot.* — 2010. — V. 76 — № 2 — P. 167–179.