

## ФИТОРЕМЕДИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К СВИНЦУ

© 2021

**Витязь С.Н., Колосова М.М., Дрёмова М.С., Казакова М.А., Роткина Е.Б.**

*Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация)*

*Аннотация.* В данной работе описаны результаты изучения фиторемедиационного потенциала цветковых растений по отношению к ионам свинца в условиях лабораторного опыта. Тестовыми культурами выступали фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), горчица белая (*Sinapis alba* L.), бархатцы мелкоцветные (*Tagetes patula* L.) и смесь злаковых трав, состоящая из овсяницы красной 40% (*Festuca rubra* L.), райграса пастбищного 50% (*Lolium perenne* L.) и мятлика лугового 10% (*Poa pratensis* L.). В условиях эксперимента в почву, отобранную с территории земель сельскохозяйственного назначения (чернозем выщелоченный среднемошный тяжелосуглинистый с высоким содержанием гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, низким содержанием нитратного азота, валовых и подвижных форм свинца) вносили ионы свинца в концентрациях 2 и 10 ПДК. Установлено, что все выбранные в качестве тестовых культур представители сорных, декоративных и сидеральных растений способны в той или иной степени к аккумуляции ионов свинца из почв и, следовательно, могут выполнять функции фиторемедиаторов сельскохозяйственных земель, предназначенных для органического земледелия. Способность к аккумуляции ионов свинца возрастает в ряду: фацелия – бархатцы – горчица – смесь злаковых трав. Максимальный эффект фиторемедиации почвы выявлен на варианте со злаковой смесью (содержание ионов свинца в почве при внесении 2 ПДК снижается на 32,8%, при внесении 10 ПДК – на 23,6%).

*Ключевые слова:* цветковые растения; органическое сельское хозяйство; агрохимический состав почвы; ионы тяжелых металлов; свинец; коэффициент аккумуляции; коэффициент биологического поглощения; фиторемедиационный потенциал; фацелия пижмолистная; горчица белая; бархатцы мелкоцветные; смесь злаковых трав.

## PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF FLOWERING PLANTS IN RELATION TO LEAD

© 2021

**Vityaz S.N., Kolosova M.M., Dremova M.S., Kazakova M.A., Rotkina E.B.**

*Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation)*

*Abstract.* This paper deals with the study of the phytoremediation potential of flowering plants in relation to lead ions under laboratory conditions. The test cultures were phacelia tansy (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), white mustard (*Sinapis alba* L.), small-flowered marigolds (*Tagetes patula* L.) and a mixture of cereal grasses consisting of red fescue 40% (*Festuca rubra* L.), perennial ryegrass 50% (*Lolium perenne* L.) and meadow bluegrass 10% (*Poa pratensis* L.). Under the experimental conditions lead ions in concentrations of 2 and 10 MPC were introduced into the soil sampled from the territory of agricultural lands (leached medium-thick heavy loamy chernozem with a high content of humus, mobile phosphorus and exchangeable potassium, low content of nitrate nitrogen, bulk and mobile forms of lead). It has been established that all representatives of weeds, ornamental and green manure plants selected as test crops are capable, to one degree or another, of accumulating lead ions from soils and therefore can function as phytoremediators of agricultural lands intended for organic farming. The ability to accumulate lead ions increases in the following order: phacelia – marigolds – mustard – a mixture of cereal grasses. The maximum effect of phytoremediation of the soil was revealed in the variant with a cereal mixture (the content of lead ions in the soil with the introduction of 2 MPC decreases by 32,8%, with the introduction of 10 MPC – by 23,6%).

*Keywords:* flowering plants; organic agriculture; agrochemical soil composition; heavy metal ions; lead; accumulation coefficient; biological absorption coefficient; phytoremediation potential; tansy phacelia; white mustard; small marigolds; mixture of cereal herbs.

### Введение

По мере накопления знаний о путях антропогенного поступления тяжелых металлов в окружающую среду, об их миграции и воздействии на экосистемы развивается и совершенствуется система контроля, нормирования и мониторинга этих поллютантов. В настоящее время к наиболее опасным металлам относятся ртуть, свинец, кадмий, олово, хром, никель, молибден, ванадий, кобальт, медь и три амфотерных элемента (металлоида) – мышьяк, селен и сурьма [1, с. 56]. В Российской Федерации действует целый ряд нормативных документов, позволяющих оценивать

состояние экосистем в отношении тяжелых металлов [2–7]. Согласно этим нормативным документам, свинец относится к первому классу опасности и является приоритетным загрязнителем окружающей среды. Основными источниками поступления свинца в почвы агроценозов являются тепловые электростанции, предприятия цветной и черной металлургии, автотранспорт, использование в качестве удобрений твердых бытовых отходов и осадков сточных вод [8, с. 989; 9, с. 427]. Многочисленные исследования указывают на отрицательное влияние ионов свинца на здоровье животных и человека [10, с. 15]. Описаны

результаты поражения органов кроветворения, нервной, сердечно-сосудистой [11, с. 10; 12, с. 13] и мочеполовой [13, с. 1442] систем, нарушения процессов метаболизма и биосинтеза [14, с. 64; 15, с. 225]. Некоторые исследователи указывают на канцерогенный эффект свинца [16, с. 189; 17, с. 198]. Доказано, что под влиянием свинца в растениях подавляется интенсивность процесса фотосинтеза, увеличивается содержание кадмия и снижается поступление в растения цинка, кальция, фосфора, серы. Свинцовый токсикоз наблюдается в растениях при валовом содержании свинца в почвах от 100 до 500 мг/кг [18, с. 268; 19, с. 129].

Исследования поведения тяжелых металлов в системе «почва – растения» позволяют ученым выявить новые подходы в отношении оценки экологических рисков, связанных с накоплением этих элементов в почвах и путей их устранения [1, с. 77]. Стремление сельхозпроизводителей к получению экологически чистой продукции делает еще более актуальной проблему оценки санитарно-химического состояния почв и, при необходимости, их оздоровления.

Одним из перспективных направлений, связанных с решением проблем загрязнения окружающей среды в результате увеличивающегося антропогенного воздействия, является фиторемедиация, в основе которой лежит способность растений извлекать вредные вещества из окружающей среды (воздуха, воды или почвы) и концентрировать без видимых признаков угнетения в своих тканях различные элементы или превращать их в безопасные соединения – метаболиты [20, с. 247].

Целью данного исследования явилось определение фиторемедиационного потенциала некоторых сосудистых растений по отношению к ионам свинца.

#### Объект и методы исследования

Лабораторный этап исследования был выполнен в период с 15.04.2020 г. по 15.05.2020 г. в условиях лаборатории кафедры ландшафтной архитектуры Кузбасской ГСХА.

В качестве тестовых культур для определения их фиторемедиационного потенциала по отношению к ионам свинца были выбраны следующие цветковые растения: фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), горчица белая (*Sinapis alba* L.), бархатцы мелкоцветные (*Tagetes patula* L.) и смесь злаковых трав, состоящая из овсяницы красной 40% (*Festuca rubra* L.), райграса пастбищного 50% (*Lolium perenne* L.) и мятлика лугового 10% (*Poa pratensis* L.). В качестве критериев при выборе культур для данного исследования использовались такие, как высокая экологическая пластичность и морфологическая изменчивость генеративных и вегетативных органов, доступность посевного материала для ши-

рокого использования сельхозпроизводителями и простота в технологии возделывания.

Перед посевом у семян исследуемых культур определялись биоэнергетический потенциал и лабораторная всхожесть (ГОСТ 12038–84) [21].

Для лабораторных исследований использовалась почва, отобранная с территории земель сельскохозяйственного назначения, которые определены для последующего их использования в органическом земледелии. Пробы почвы брали из пахотного горизонта. Отбор проб почвы проводился методом конверта (ГОСТ 17.4.4.02–2017) [22].

Перед использованием в лабораторных условиях почвы были подвергнуты агрохимическому анализу и анализу на содержание ионов свинца. Определялись следующие агрохимические показатели почвы: массовая доля органического вещества (ГОСТ 26213–91) [23], массовая доля общего (ГОСТ 26107–84) [24] и нитратного азота (ГОСТ 26951–86) [25], рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483–85) [26], массовая доля подвижного фосфора и обменного калия (ГОСТ Р 54650–2011) [27], содержание валовых и подвижных форм свинца (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98) [28].

В лабораторном опыте источником загрязнения почвы ионами свинца послужили растворы нитрата свинца с концентрациями 2 и 10 ПДК (ПДК (Pb) = 32 мг/кг почвы). Подготовку почв и растений для контроля в них ионов свинца проводили в соответствии с методикой, предложенной А.В. Линдеманом с соавторами [29, с. 45]. В пластиковые контейнеры 20 × 30 × 10 см помещали по 1 кг почвы. В каждую емкость после тщательного увлажнения почвы вносили по 50 мл раствора с соответствующей концентрацией ионов свинца. В качестве контрольной группы выступали почвы, взятые с территории земель сельскохозяйственного назначения.

В подготовленные почвы согласно схеме опыта (табл. 1) в трехкратной повторности в каждом варианте высевались исследуемые растения.

Контроль содержания ионов свинца в почве и фитомассе растений осуществляли через 30 дней после посева. Содержание свинца в пробах почвы и растительного материала определялось методом атомно-эмиссионного спектрального анализа при помощи спектрометра эмиссионного с индуктивно-связанной плазмой Optima модель 2100 DV (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98) [28].

Для расчета коэффициента аккумуляции ( $K_{ак}$ ) брали отношение концентрации элемента в почве в конце опыта к его концентрации на начало опыта.

Для выявления избирательности поглощения ионов свинца растениями применялся коэффициент биологического поглощения ( $K_{бп}$ ), представляющий собой частное от деления количества элемента в золе растений на его валовое содержание в почве [30, с. 13].

Таблица 1 – Схема лабораторного опыта

№ варианта	Тестовые культуры				
1	Контроль	Фацелия пижмолистная	Горчица белая	Смесь злаковых трав	Бархатцы мелкоцветные
2	2 ПДК Рb	Фацелия пижмолистная	Горчица белая	Смесь злаковых трав	Бархатцы мелкоцветные
3	10 ПДК Рb	Фацелия пижмолистная	Горчица белая	Смесь злаковых трав	Бархатцы мелкоцветные

**Результаты исследований  
и их обсуждение**

Необходимым условием для определения качества посевного материала является его проверка на предмет всхожести и энергии прорастания семян. Данные показатели характеризуют способность семян давать в полевых условиях дружные и ровные всходы, а значит, хорошую выровненность и выживаемость растений. Анализ результатов определения качества семян изучаемых растений показал (табл. 2), что энергия прорастания и лабораторная всхожесть у исследуемых культур варьирует в пределах 66–76% и 79–92% соответственно, что свидетельствует о высоком биоэнергетическом потенциале посевного материала. Наибольшие значения лабораторной всхожести семян отмечены у горчицы белой, наименьшие – у овсяницы красной.

Используемая в лабораторном опыте почва – это чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в верхнем 0–20 см слое составляет 9,13% (высокое). Обеспеченность азотом (нитратная форма) – низкая. Почва имеет повышенное содержание подвижного фосфора и обменного калия. Реакция почвенного раствора близкая к нейтральной (согласно ГН 2.1.7.2511–09 [6]) –  $pH_{\text{сол}} 5,7$  (табл. 3).

Валовое содержание свинца в исследуемой почве несколько выше кларка по Виноградову [31, с. 250], но существенно ниже ОДК для почв, близких к нейтральным (табл. 4). Содержание подвижных форм свинца составляет 1,0% от валового и более чем в 40 раз ниже значений ПДК.

Согласно данным о значениях кларков металлов в почвах по Кабата-Пендиас [19, с. 405], которые ис-

пользуют во многих зарубежных странах, содержание свинца в почвах, взятых для исследования с опытного участка, не превышает фоновое. Для почв с реакцией почвенного раствора  $>5,5$ , близкой к нейтральной, согласно ГН 2.1.7.2511–09, ориентировочно допустимое содержание (ОДК) валовых форм свинца составляет 130 мг/кг. В нашем случае значенные  $pH$  солевой вытяжки 5,7, а содержание валовых форм свинца 13,6 мг/кг воздушно-сухой почвы, что почти на порядок ниже ОДК. Данные о соотношении валовых и подвижных форм свинца в почвах опытного участка согласуются с литературными данными [32, с. 36; 33, с. 90; 34, с. 25].

После внесения ионов свинца во взятые для исследования почвы с концентрациями в растворах 2 и 10 ПДК его содержание на начало опыта составило  $96,6 \pm 14,0$  и  $429,6 \pm 46,0$  мг/кг воздушно-сухой почвы соответственно (табл. 5).

Сравнительный анализ проб почвы и растительного материала по содержанию ионов свинца в лабораторном опыте показал: все растения, взятые для исследования (сорные, декоративные и сидеральные) способны в разной степени к аккумуляции ионов свинца из почв.

Так, фацелия пижмолистная и бархатцы мелкоцветковые показывают самые низкие значения аккумуляции исследуемого поллютанта на контроле (менее 0,1 мг/кг воздушно-сухой фитомассы). В то же время значения аккумуляции свинца в сухой фитомассе смеси злаковых трав составляет  $3,20 \pm 0,8$  мг/кг, что в 32 раза превышает аналогичные показатели аккумуляции фацелии пижмолистной и бархатцев мелкоцветковых и в 20 раз – горчицы белой.

**Таблица 2** – Биоэнергетический потенциал посевного материала

Вариант	Период определения показателя, сутки		Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
	энергии прорастания	лабораторная всхожесть		
Фацелия пижмолистная	4	10	$72 \pm 1,2$	$90 \pm 3,5$
Горчица белая	3	6	$76 \pm 2,1$	$92 \pm 2,6$
Бархатцы мелкоцветные	3	7	$66 \pm 3,2$	$83 \pm 1,9$
Овсяница красная	7	14	$68 \pm 2,5$	$79 \pm 3,4$
Мятлик луговой	7	21	$71 \pm 2,7$	$89 \pm 2,5$
Райграс пастбищный	5	10	$70 \pm 3,1$	$85 \pm 2,8$

**Таблица 3** – Агрохимические показатели почв, предназначенных для лабораторных исследований

Показатели	Содержание	Уровень содержания
Массовая доля органического вещества, %	9,13	высокое
Массовая доля нитратного азота, мг/кг почвы	4,08	низкий
$pH$ солевой вытяжки	5,7	близкий к нейтральному
Массовая доля подвижного фосфора, мг $P_2O_5$ /кг почвы	127,75	повышенный
Массовая доля общего азота, %	0,21	повышенный
Массовая доля обменного калия, мг $K_2O$ /кг почвы	181	повышенное

**Таблица 4** – Содержание ионов свинца в почве, предназначенной для лабораторных исследований в сравнении с кларком и ОДК/ПДК, мг/кг

ТМ	Нормативные показатели содержания ТМ в почвах				Содержание ТМ в почве опытного участка	
	Кларк в почвах мира, мг/кг		ОДК вал., мг/кг	ПДК подв., мг/кг	Валовое, мг/кг	Подвижные формы, мг/кг
	по Виноградову (1957)	по Кабата-Пендиас (1989)				
Pb	10,0	27,0	130	6,0	$13,6 \pm 2,9$	$0,14 \pm 0,03$

*Примечание.* Показатели точности ( $\pm \Delta$  при  $P = 0,95$ ).

При загрязнении почв ионами свинца в концентрации 2 ПДК и 10 ПДК тенденция к его аккумуляции у исследуемых цветковых растений сохраняется: самые высокие значения отмечаются в фитомассе злаковых культур, самые низкие – фацелии пижмолистной.

Следует отметить, что с увеличением концентрации ионов свинца в почве аккумулирующая способность растений к данному загрязнителю повышается во всех опытных группах. Так, у смеси злаковых трав этот показатель при концентрации в почве свинца 10 ПДК увеличивается в 32 раза, фацелии пижмолистной – в 63 раза, бархатцев мелкоцветных – в 280 раз; горчицы белой – в 400 раз по сравнению с контролем.

Анализ результатов изменения концентрации ионов свинца в почве при выращивании цветковых рас-

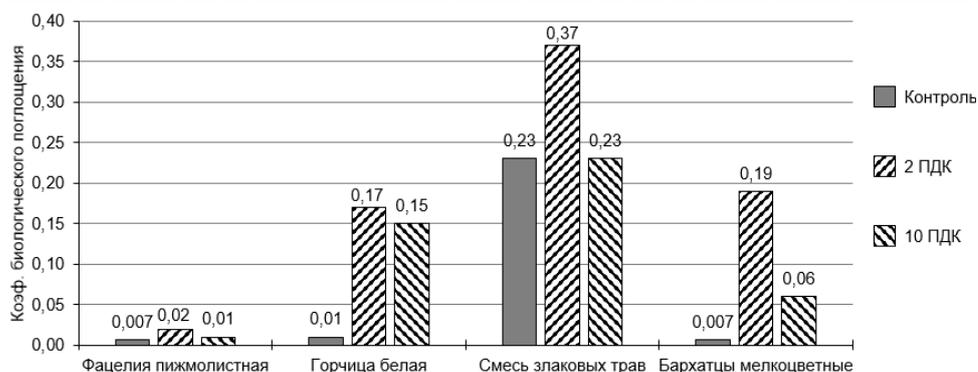
тений показал, что в контрольной группе значимое снижение его содержания (25,7%) проявляется только в варианте со смесью злаковых трав. В вариантах опыта при 2 ПДК ионов свинца отмечается снижение его концентрации на 32,8% (смесь злаковых трав) и 16% (горчица белая и бархатцы мелкоцветные); при 10 ПДК – на 23,6% (смесь злаковых трав) и 22% (горчица белая).

В ходе анализа данных установлена корреляция между снижением содержания исследованных ионов свинца в почве и накоплением их в растительном материале, что количественно подтверждают значения коэффициентов биологического поглощения и коэффициентов аккумуляции (рис. 1, 2).

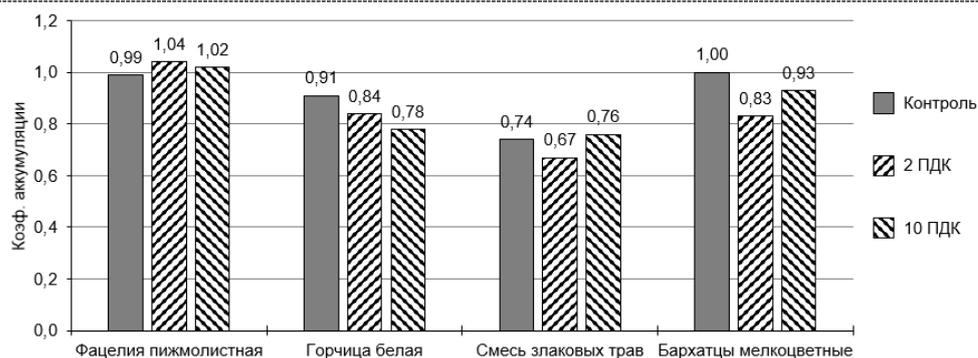
**Таблица 5** – Сравнительный анализ проб почвы и растительного материала по содержанию ионов свинца в лабораторном опыте, мг/кг

Варианты опыта		Объект исследования		
		почва		растения
		начало опыта	конец опыта	конец опыта
Фацелия пижмолистная	Контроль	13,6 ± 2,9	13,5 ± 2,7	<0,1
	2 ПДК Рв	96,6 ± 9,0	92,5 ± 13,0	2,5 ± 0,53
	10 ПДК Рв	429,6 ± 46,0	423,0 ± 45,0	6,3 ± 1,3
Горчица белая	Контроль	13,6 ± 2,9	12,4 ± 2,6	0,16 ± 0,03
	2 ПДК Рв	96,6 ± 9,0	80,9 ± 8,0	16,5 ± 3,5
	10 ПДК Рв	429,6 ± 36,0	334,0 ± 20,0	64,0 ± 13,0
Смесь злаковых трав	Контроль	13,6 ± 2,9	10,1 ± 2,1	3,2 ± 0,8
	2 ПДК Рв	96,6 ± 9,0	64,9 ± 6,0	36,0 ± 6,1
	10 ПДК Рв	429,6 ± 46,0	328,0 ± 39,0	101,0 ± 21,0
Бархатцы мелкоцветные	Контроль	13,6 ± 2,9	13,6 ± 2,9	<0,1
	2 ПДК Рв	96,6 ± 9,0	80,6 ± 7,3	18,2 ± 3,8
	10 ПДК Рв	429,6 ± 46,0	400,0 ± 35,0	28,0 ± 6,0

Примечание. Показатели точности ( $\pm \Delta$  при  $P = 0,95$ ).



**Рисунок 1** – Фиторемедиационный потенциал цветковых растений по отношению к свинцу в лабораторных условиях



**Рисунок 2** – Эффективность фиторемедиации почвы по отношению к свинцу в лабораторных условиях

Сравнительный анализ значений коэффициентов аккумуляции и биологического поглощения разных культур показал, что в условиях лабораторного опыта способность к аккумуляции при концентрации ионов свинца 2 ПДК возрастает в ряду: фацелия пижмолистная – горчица белая – бархатцы мелкоцветные – смесь злаковых трав; при концентрации ионов свинца 10 ПДК – в ряду: фацелия пижмолистная – бархатцы мелкоцветные – горчица белая – смесь злаковых трав.

Установлено, что более высокий фиторемедиационный потенциал у всех исследуемых культур проявляется при содержании в почве ионов свинца в концентрации 2 ПДК, однако значимые различия  $K_{\text{бп}}$  отмечались только в варианте со смесью злаковых трав ( $K_{\text{бп}} = 0,37$ ). При низком (фоновом) содержании свинца в почве значимое снижение его концентрации выявляется только на варианте со злаковой смесью, что подтверждает значение коэффициента аккумуляции ( $K_{\text{ак}} = 0,74$ ). При содержании ионов свинца в почве в концентрации 2 ПДК значимое его снижение обнаруживается на вариантах со злаковой смесью ( $K_{\text{ак}} = 0,67$ ), горчицей белой ( $K_{\text{ак}} = 0,84$ ) и бархатцами мелкоцветными ( $K_{\text{ак}} = 0,83$ ), а при его содержании в концентрации 10 ПДК – на вариантах со злаковой смесью ( $K_{\text{ак}} = 0,76$ ) и горчицей белой ( $K_{\text{ак}} = 0,78$ ).

#### Выводы

В ходе проведенного лабораторного исследования установлено, что сорные, декоративные и сидеральные растения способны в разной степени к аккумуляции тяжелых металлов из почв и, следовательно, могут выполнять функции фиторемедиаторов сельскохозяйственных земель, предназначенных для органического земледелия.

Для ионов свинца лучшим фитоаккумулятором является смесь злаковых трав. При увеличении концентрации Pb в почве в 2 ПДК относительно контроля содержание этого ТМ в растительном материале увеличивается в 11,2 раза, а при увеличении концентрации Pb в почве в 10 ПДК – более чем в 30 раз относительно контроля.

При низком (фоновом) содержании свинца значимое снижение его концентрации в почве (25,7%) выявлено только в варианте со злаковой смесью, что подтверждает и значение коэффициента аккумуляции ( $K_{\text{ак}} = 0,74$ ).

Максимальный эффект фиторемедиации почвы выявлен на варианте со злаковой смесью (содержание ионов свинца в почве при внесении 2 ПДК снижается на 32,8%, при внесении 10 ПДК – на 23,6%).

По способности к аккумуляции ионов свинца тестовые культуры образуют ряд: фацелия < бархатцы < горчица < смесь злаковых трав.

#### Список литературы:

1. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: 2011. Вып. 68. С. 56–81.
2. ГОСТ 17.4.1.02–83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 4 с.
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1989. 58 с.

4. СанПиН 2.1.7.1287–03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 16 с.
5. ГН 2.1.7.2041–06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
6. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 10 с.
7. Гигиеническая оценка качества населенных мест: методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.
8. Копчик Г.Н., Недбаев Н.П., Копчик С.В., Павлюк И.Н. Загрязнение почв лесных экосистем тяжелыми металлами в зоне влияния комбината «Печенганикель» // Почвоведение. 1998. № 8. С. 988–995.
9. Шабаев В.П. Поступление свинца в растения из загрязненной тяжелым металлом почвы при инокуляции ростстимулирующими ризосферными бактериями // Известия РАН. Серия биологическая. 2014, № 4. С. 424–432.
10. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т. 3. Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.
11. Артамонова В.Г., Плещ О.Г., Шевелева М.А. Некоторые аспекты профессионального воздействия соединений свинца на сердечно-сосудистую систему // Медицина труда и промышленная экология. 1998. № 12. С. 6–11.
12. Гатагонова Т.М. Особенности липидного состава сыворотки крови у рабочих, занятых в производстве свинца // Медицина труда и промышленная экология. 1999. № 4. С. 9–14.
13. Hong F., Wu C., Liu C. et al. Direct evidence for interaction between lead ions and kidney DNA from silver crucian carp // Chemosphere. 2007. Vol. 68. P. 1442–1446.
14. Криницкая Н.А., Боярченко Е.К. О биологическом действии различных форм свинца в составе пищевого рациона крыс // Вопросы питания. 1983. № 5. С. 62–65.
15. Иванов Г.М. Микроэлементы – биофилы в ландшафтах Забайкалья: монография. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.
16. Yang J.L., Yeh S.C., Chang C.Y. Lead acetate mutagenicity and mutational spectrum in the hypoxanthine guanine phosphoribosyltransferase gene of Chinese hamster ovary K1 cells // Molecular Carcinogenesis. 1996. Vol. 17. P. 181–191.
17. Yang J.L., Wang L.C., Chang C.Y., Liu T.Y. Singlet oxygen is the major species participating in the induction of DNA strand breakage and 8 hydroxyguanosine adduct by lead acetate // Environmental and Molecular Mutagenesis. 1999. Vol. 33. P. 194–201.
18. Nas F.S., Ali M. The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review // MOJ Ecology & Environmental Sciences. 2018. Vol. 3 (4). P. 265–268.
19. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
20. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений // Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78, № 3. С. 247–249.
21. ГОСТ 12038–84 (межгосударственный). Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения

всхожести [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. <https://docs.cntd.ru/document/1200023365>.

22. ГОСТ 17.4.4.02–2017 (межгосударственный). Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018. 21 с.

23. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – <https://docs.cntd.ru/document/gost-26213-91>.

24. ГОСТ 26107–84. Почвы. Методы определения общего азота [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – <https://docs.cntd.ru/document/gost-26107-84>.

25. ГОСТ 26951–86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – <https://docs.cntd.ru/document/gost-26951-86>.

26. ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200023490>.

27. ГОСТ Р 54650–2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – <https://docs.cntd.ru/document/gost-r-54650-2011>.

28. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98. Методика выполнения измерения содержания металлов в твердых объектах (почва, компосты, кеки, осадки сточных вод, пробы растительного происхождения) методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М., 1998. 29 с.

29. Линдиман А.В., Шведова Л.В., Тукумова Н.В., Невский А.В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы // Экология и промышленность России. 2008. № 9. С. 45–47.

30. Селюкова С.В. Экологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Черноземного района России: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Белгород, 2019. 25 с.

31. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 259 с.

32. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания свинца в почвах и растениях Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017. № 18 (4). С. 36–40.

33. Еськов Е.К., Еськова М.Д., Серая Л.В. Накопление и локализация свинца в различных органах и тканях растений // Агрехимия. 2014. № 8. С. 88–91.

34. Лебедева Л.А., Арзамасова А.В. Влияние агрохимических средств на поступление свинца в растения ячменя при загрязнении дерново-подзолистой почвы этим металлом // Проблемы агрохимии и экологии, 2010. № 2. С. 22–26.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p><b>Витязь Светлана Николаевна</b>, кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры; Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация). E-mail: <a href="mailto:svetlana_vityaz@mail.ru">svetlana_vityaz@mail.ru</a>.</p> <p><b>Колосова Марина Михайловна</b>, кандидат химических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры; Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация). E-mail: <a href="mailto:komar.54@yandex.ru">komar.54@yandex.ru</a>.</p> <p><b>Дрёмова Мария Сергеевна</b>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры; Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация). E-mail: <a href="mailto:dremova_maria@mail.ru">dremova_maria@mail.ru</a>.</p> <p><b>Казакова Мария Андреевна</b>, старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры; Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация). E-mail: <a href="mailto:mariya_kazakova.com@mail.ru">mariya_kazakova.com@mail.ru</a>.</p> <p><b>Роткина Екатерина Борисовна</b>, старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры; Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (г. Кемерово, Российская Федерация). E-mail: <a href="mailto:k.rot@mail.ru">k.rot@mail.ru</a>.</p>	<p><b>Vityaz Svetlana Nikolaevna</b>, candidate of biological sciences, associate professor of Landscape Architecture Department; Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: <a href="mailto:svetlana_vityaz@mail.ru">svetlana_vityaz@mail.ru</a>.</p> <p><b>Kolosova Marina Mikhailovna</b>, candidate of chemical sciences, associate professor of Landscape Architecture Department; Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: <a href="mailto:komar.54@yandex.ru">komar.54@yandex.ru</a>.</p> <p><b>Dremova Maria Sergeevna</b>, candidate of agricultural sciences, associate professor of Landscape Architecture Department; Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: <a href="mailto:dremova_maria@mail.ru">dremova_maria@mail.ru</a>.</p> <p><b>Kazakova Maria Andreevna</b>, senior lecturer of Landscape Architecture Department; Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: <a href="mailto:mariya_kazakova.com@mail.ru">mariya_kazakova.com@mail.ru</a>.</p> <p><b>Rotkina Ekaterina Borisovna</b>, senior lecturer of Landscape Architecture Department; Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russian Federation). E-mail: <a href="mailto:k.rot@mail.ru">k.rot@mail.ru</a>.</p>

**Для цитирования:**

Витязь С.Н., Колосова М.М., Дрёмова М.С., Казакова М.А., Роткина Е.Б. Фиторемедиационный потенциал цветковых растений по отношению к свинцу // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 1. С. 41–46. DOI: 10.17816/snv2021101105.