

**БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВИДОВ ПАСТБИЩНЫХ РАСТЕНИЙ  
В ПОГЛОЩЕНИИ СВИНЦА, КАДМИЯ И МЫШЬЯКА  
В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

© 2021 г. Н.Ю. Белозубова, В.М. Зубкова

Российский государственный социальный университет  
Россия, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4, стр. 1  
E-mail: belozubovanju@rgsu.net, gerlinger\_natali@mail.ru

Поступила в редакцию 05.09.2020. После доработки 02.10.2020. Принята к публикации 01.04.2021.

Производство продукции животноводства в пригородных зонах городских агломераций, в том числе в степях Сарпинской низменности – благоприятной для животноводства территории, экономически выгодно в связи с близостью от предприятий переработки и потребителей.

Вместе с тем такие зоны испытывают аэротехногенное воздействие городских промышленных предприятий, являющихся источниками поступления в экосистемы тяжелых металлов и мышьяка. В этой связи изучение распределения элементов-загрязнителей в агроценозах, прилегающих к промышленным центрам, приобретает все большую актуальность.

Исследована биогеохимическая активность растений, относящихся к семействам: бобовых (Fabaceae) – донника лекарственного (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) и донника белого (*Melilotus albus* (Medik.) N. Ohashi & Y. Tateishi); злаковых (Poaceae) – пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), житняка пустынного (*Agropyron desertorum* (Fisch.) Schultes) и тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.); маревых (Chenopodiaceae) – лебеды раскидистой (*Atriplex patula* L.).

Обнаружена высокая степень накопления мышьяка корнями всех исследуемых растений, за исключением донника лекарственного (*Melilotus officinalis*); наибольшая биогеохимическая активность в поглощении Pb, Cd и As надземной частью лебеды раскидистой (*Atriplex patula*) и корнями житняка пустынного (*Agropyron desertorum*).

**Ключевые слова:** Волгоградская область, Сарпинская низменность, светло-каштановые почвы, пастбищные растения, загрязнение, тяжелые металлы, мышьяк.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10167**

Аридные зоны Российской Федерации, где использование растительных ресурсов ограничено почвами различной степени засоления и сухим жарким климатом, занимают обширные территории. Сарпинская низменность расположена в центральной части Северо-Западного Прикаспия, где на светло-каштановых почвах простираются опустыненные полукустарничково-дерновинно-злаковые степи.

В данном регионе издавна занимаются животноводством, используя территории под пастбища (Лозицкий, 2012). Продолжительность пастбищного периода в Волгоградской области составляет от 200 до 230 дней (Грингоф, Бабушкин, 2010). В это время животные поедают наиболее питательный и доступный корм (Булатов и др., 2016).

Основу естественных лугов и пастбищ составляют злаки. В степной зоне роль злаков особенно велика, на сенокосах целинных участков и залежей они часто составляют более 70% травостоя (Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство ..., 1969).

Первое место среди злаковых по распространенности и кормовому значению принадлежит роду житняков – *Agropyron*. Это многолетние плотно- или рыхлокустовые полуверховые злаки. Житняк пустынный (*Agropyron desertorum* (Fisch.) Schultes) растет в условиях светло-каштановых почв и солонцов полупустынь, засухоустойчив и морозостоек, является хорошим кормовым растением. В весеннее время житняк охотно поедается скотом до колошения. В сене житняк отлично поедается скотом.

Пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.)) – многолетний верховой злак. Переносит засоление почв и

длительное весеннее затопление. Хорошо поедается на пастбище всеми видами скота с момента вегетации до середины колошения; прекрасно поедается скотом и отава.

Тростник южный или обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) – корневищевый многолетний злак. Молодые растения содержат много углеводов и поэтому охотно поедаются крупным рогатым скотом. До выбрасывания метелки в тростнике нередко содержится свыше 30% клетчатки и 7-8% протеина. В период колошения тростник обычно поедается плохо.

Таким образом, по поедаемости, содержанию растений в травостое пастбищ основная роль принадлежит злакам, за ними следуют бобовые и маревые, присутствующие в травостое пастбищ приблизительно в одинаковых количествах.

В степи и полупустыне роль бобовых невелика, вместе с тем по окончании плодоношения они меньше грубеют и поедаются лучше злаков.

Бобовые растения, богатые белком, такие как донник белый (*Melilotus albus* (Medik.) N. Ohashi & Y. Tateishi), растут на солонцах и влажных солончаковатых почвах (Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство ..., 1969).

Донник лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) растет в тех же условиях, что и донник белый (*M. albus* (Medik.) N. Ohashi & Y. Tateishi), проявляет большую чувствительность к засолению почв, но вместе с тем более засухоустойчив.

Маревые (*Chenopodiaceae*) – главным образом пастбищные травы, вместе с тем некоторые из них заготавливают на сено. Значительное число растений этой группы хорошо поедается скотом в течение всей вегетации. Лебеда раскидистая (*Atriplex patula* L.) дает высокий урожай зеленой массы.

На элементный состав одних и тех же растений, собранных в разных зонах, климат и почвы влияют настолько значительно, что видовые особенности растений могут иметь второстепенное значение (Ефремов и др., 2002; Омариева, 2014). Воздействие аэротехногенных выбросов также влияет на элементный состав растений (Минкина и др., 2018).

Почва является основным приемником и аккумулятором тяжелых металлов (ТМ). Максимальное содержание ТМ, как правило, наблюдается в корнях растений, значительно меньше в надземных органах, особенно генеративных, таким образом, имеет место акропетальное распределение посредством действия нескольких барьеров, препятствующих поступлению тяжелых металлов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Однако при техногенном загрязнении растения могут накапливать большее количество тяжелых металлов в надземных частях, по сравнению с корнями за счет поглощения их листьями после оседания частиц на поверхность растений (Xiong et al., 2014; Mandzhieva et al., 2016). Вклад воздушного или почвенного источника в поступлении металлов определяется такими составляющими, как объем, состав выбросов, наличие других металлов, длительность воздействия, свойства почвы, содержание и форма соединений металлов в почве, видовые особенности растений, период вегетации (Deng et al., 2004; Motuzova et al., 2014).

При одинаковом содержании тяжелых металлов в почве их поглощение разными видами растений отличается из-за физиологических особенностей – метаболических процессов в тканях и избирательности поглощения корнями (Серегин, Кожевникова, 2008).

Изучение устойчивости культурных и диких растений семейства злаковые (*Poaceae*) к аэротехногенному загрязнению почвы выявило, что даже в пределах одного семейства Poaceae культурные виды более чувствительны к антропогенному загрязнению, чем дикорастущие (Charlygin et al., 2019).

Пригородные зоны испытывают аэротехногенное воздействие городских промышленных предприятий, являющихся источниками поступления в экосистемы тяжелых металлов и мышьяка. Вместе с тем, на данных территориях экономически выгодно производство продукции животноводства вследствие близости потребителей и предприятий переработки (Белозубова, 2011). Почва выступает первым звеном в пищевой цепи почва – растение – животное. Миграция тяжелых металлов в пастбищных травах является актуальным вопросом в связи с тем, что конечным звеном трофической цепи является человек.

Цель исследования – изучение закономерностей распределения Pb, Cd и As в растениях пастбищных фитоценозов, прилегающих к промышленным центрам.

В ходе исследования решались задачи по оценке почвы пастбища по содержанию тяжелых

металлов и мышьяка, установлению содержания этих элементов в корнях, стеблях и листьях тестовых видов растений, изучению биогеохимических особенностей растений в накоплении элементов-загрязнителей.

### Объекты и методы исследований

Исследования проведены в Волгоградской области на пастбищных угодьях поселка Червленое Светлоярского района. Данная территория испытывает воздействие предприятий металлургической (ЗАО «Северсталь-метиз»), химической (ОАО «Каустик»), нефтеперерабатывающей (ООО «ЛУКойл-Волгограднефтепереработка») отрасли, теплоэнергетики (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3), а также интенсивно действующих авто- и железнодорожных магистралей.

Объектами исследований являлись пастбищные растения семейств: злаковых (*Poaceae*) – житняк пустынный (*Agropyron desertorum* (Fisch.) Schultes), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.)), тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.); бобовых (*Fabaceae*) – донник лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), донник белый (*Melilotus albus* (Medik.) N. Ohashi & Y. Tateishi); маревых (*Chenopodiaceae*) – лебеда раскидистая (*Atriplex patula* L.).

Для изучения миграции Pb, Cd и As в системе почва–растение и закономерностей распределения элементов в органах растений разных видов в июне 2019 года исследованы образцы почвы и кормовых трав, отобранных на пастбище.

Почвенные образцы отбирали методом прикопок в соответствии с принятыми в геохимии и почвоведении методиками (Алексеев, 1990). Почва в районе проведения исследований относится к светло-каштановому подтипу, имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав, характеризуется слабой степенью засоления по хлоридному типу, слабогумусированная.

Для оценки загрязнения почв определено валовое содержание Pb, Cd и As, которое составило 23.19, 1.79 и 0.40 мг/кг почвы соответственно.

В отобранных на тех же площадках, что и почва, промытых и высушенных до воздушно-сухого состояния растениях устанавливали концентрации вышеперечисленных элементов, отдельно анализировали корни, стебли и листья.

Анализы почв и растений проводили по соответствующим методикам, разработанным ЦИНАО и принятым в агрохимической службе (Методические указания ..., 1992; ПНД ..., 2008; ГОСТ ..., 2008, 2009).

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениях определяли атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра «МГА-915 МД», а в почве – атомно-абсорбционного спектрофотометра АА модель 140.

Оценку загрязнения изучаемых растений свинцом, кадмием и мышьяком осуществляли путем сравнения содержания данных элементов в надземной части растений с величиной их максимально допустимого уровня (МДУ) в кормах сельскохозяйственных животных (Временный максимально-допустимый ..., 1987).

Для оценки интенсивности биологического поглощения элементов растениями сопоставляли их содержания в золе растений с содержанием в почве. Этот показатель, предложенный Б.Б. Полюновым, А.И. Перельман назвал коэффициентом биологического поглощения:

$$КБП=l/n,$$

где  $l$  – содержание химического элемента в золе растений,  $n$  – содержание этого же элемента в почве (Перельман, 1966).

Для количественного выражения общей способности вида к концентрации загрязнителей А.Д. Айвазян (1974) предложил показатель биогеохимической активности вида (БХА), являющийся суммарной величиной, полученной при сложении коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов:  $БХА=\sum КБП$ .

По отношению содержания элемента в определенной части растений к его минимальному содержанию в той же части из числа изучаемых видов проводили сравнительную оценку загрязненности растений.

### Результаты и обсуждение

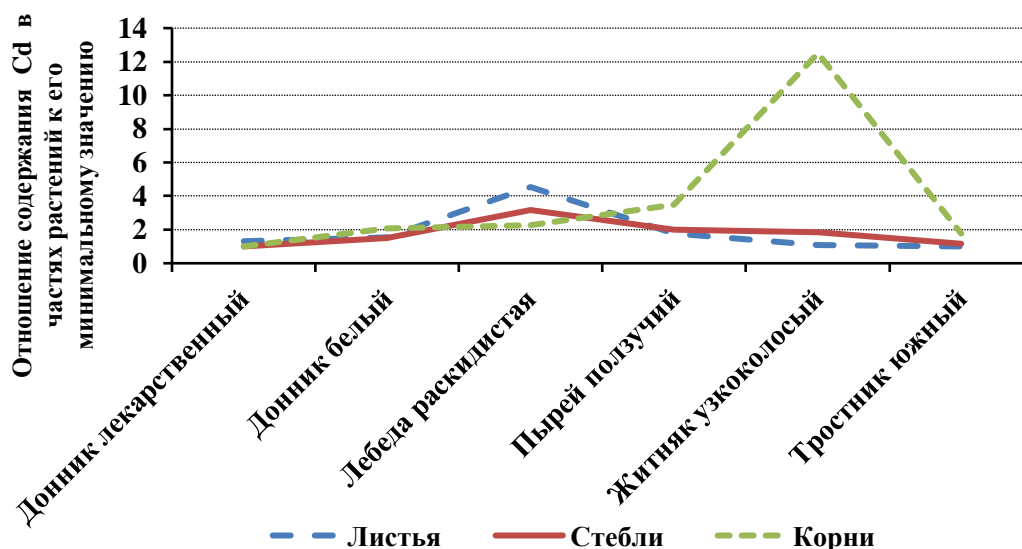
Концентрирование различных элементов, в том числе относящихся к токсичным, обусловлено как способностью растений накапливать их в вакуолях клеток и клеточных оболочках разных тканей органов, так и существованием барьерных тканей, препятствующих передвижению отдельных элементов.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что пастбищные травы отличались накопительной способностью по отношению к тяжелым металлам и мышьяку.

Большее содержание As в корнях по сравнению с надземными органами отмечено во всех исследуемых растениях (табл. 1, рис. 1), Cd – у семейств бобовых и злаковых (табл. 2, рис. 2), Pb – только у злаковых (табл. 3, рис. 3).

**Таблица 1.** Содержание As в пастбищных травах в 2019 г., мг/кг продукции.

Название растений	Листья	Стебли	Корни
Донник лекарственный	0.17±0.04	0.06±0.02	0.36±0.09
Донник белый	0.2±0.05	0.09±0.02	0.74±0.19
Лебеда раскидистая	0.59±0.15	0.19±0.05	0.81±0.20
Пырей ползучий	0.23±0.06	0.12±0.03	1.26±0.31
Житняк пустынный	0.14±0.04	0.11±0.03	4.50±1.10
Тростник южный	0.13±0.03	0.07±0.02	0.63±0.16



**Рис. 1.** Биогеохимическая активность видов пастбищных растений в поглощении As.

Содержание Pb, Cd и As в надземной части исследуемых растений было значительно ниже максимально допустимого уровня, за исключением лебеды раскидистой, в листьях которой концентрация As достигала величины МДУ – 0.5 мг/кг.

Содержание мышьяка в листьях и стеблях варьировало в зависимости от вида в диапазоне 0.06-0.59 мг/кг и находилось в пределах содержания As в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах 0.009-1.5 мг/кг (Карпова, Потатуева, 1991). Разница между минимальным и максимальным содержанием мышьяка в изучаемых растениях составила в листьях 4.5, стеблях – 3.2, в корнях – 12.5 раз (табл. 1, рис. 1).

Наибольшим содержанием мышьяка характеризовались листья и стебли лебеды раскидистой и корни житняка пустынного.

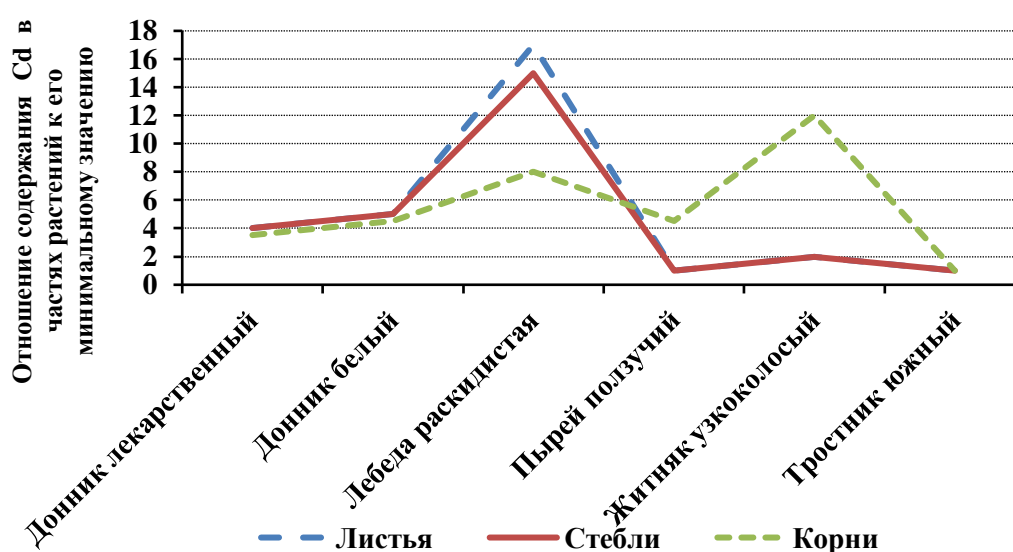
Лебеда раскидистая также отличалась и по концентрированию кадмия (табл. 2, рис. 2). В листьях и стеблях лебеды раскидистой содержание кадмия в 3-17 раз превосходило его количество в аналогичных органах других растений. Вместе с тем в частях растений, используемых на корм скоту, не отмечено превышения МДУ – 0.3 мг/кг.

Также как и по мышьяку, наибольшим содержанием кадмия в корнях характеризовался житняк пустынный (в 1.5-12.0 раз больше по сравнению с другими растениями).

Необходимо отметить, что в соотношении трех изучаемых элементов на долю кадмия приходилась меньшая часть.

**Таблица 2.** Содержание Cd в пастбищных травах в 2019 г., мг/кг продукции.

Название растений	Листья	Стебли	Корни
Донник лекарственный	0.04±0.01	0.04±0.02	0.07±0.02
Донник белый	0.05±0.01	0.05±0.02	0.09±0.03
Лебеда раскидистая	0.17±0.05	0.15±0.04	0.16±0.05
Пырей ползучий	0.01±0.01	0.01±0.01	0.09±0.03
Житняк пустынный	0.02±0.01	0.02±0.01	0.24±0.07
Тростник южный	0.01±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01



**Рис. 2.** Биогеохимическая активность видов пастбищных растений в поглощении Cd.

Иную картину биогеохимической активности исследуемых растений наблюдали в поглощении свинца. Так, содержание Pb в листьях, стеблях и корнях лебеды раскидистой было наименьшим по сравнению с другими видами. Несколько большая способность к концентрированию Pb отмечена у житняка пустынного и тростника южного. Наибольшим содержанием Pb отличались корни житняка пустынного (табл. 3, рис. 3).

**Таблица 3.** Содержание Pb в пастбищных травах в 2019 г, мг/кг продукции.

Название растений	Листья	Стебли	Корни
Донник лекарственный	0.45±0.06	0.22±0.05	0.28±0.06
Донник белый	0.49±0.15	0.28±0.06	0.33±0.07
Лебеда раскидистая	0.49±0.15	0.12±0.02	0.27±0.07
Пырей ползучий	0.49±0.15	0.12±0.03	1.72±0.60
Житняк пустынный	0.48±0.09	0.49±0.07	3.70±1.30
Тростник южный	0.49±0.15	0.47±0.17	0.69±0.24

Концентрация свинца в листьях и стеблях всех изучаемых растений не превышала величины 0.1 МДУ.

Результаты наших исследований свидетельствуют о дифференциации в интенсивности накопления различных элементов изучаемыми видами растений. Практически у всех растений корни характеризовались накопительной способностью по отношению к As (за исключением донника лекарственного). По способности корней накапливать As можно составить следующий ряд: житняк пустынный > пырей ползучий > лебеда раскидистая > донник белый > тростник южный (табл. 4). Также накопительной способностью по отношению к мышьяку характеризовались листья лебеда раскидистой.

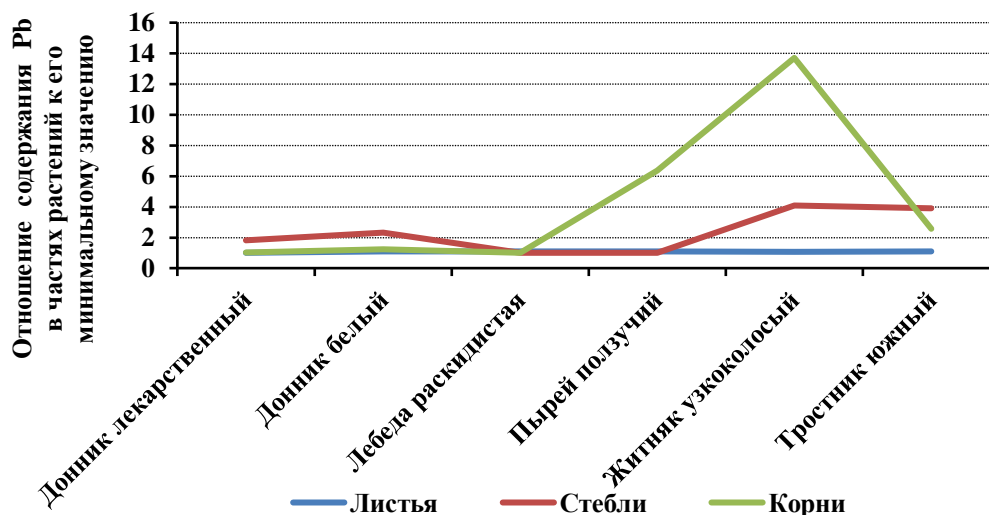


Рис. 3. Биогеохимическая активность видов пастбищных растений в поглощении Pb.

Таблица 4. Ряды биологического поглощения Pb, Cd и As пастбищными травами.

Семейство	Название растения	КБП
<b>Корни</b>		
Бобовые	Донник лекарственный	As (0.90)> Cd (0.04)> Pb (0.01)
	Донник белый	As (1.85)> Cd (0.05)> Pb (0.01)
Злаковые	Пырей ползучий	As (3.15)> Pb (0.07)> Cd (0.05)
	Житняк пустынный	As (11.25)> Pb (0.16)> Cd (0.13)
	Тростник южный	As (1.58)> Pb (0.03)> Cd (0.01)
Маревые	Лебеда раскидистая	As (2.03)> Cd (0.09)> Pb (0.01)
<b>Стебли</b>		
Бобовые	Донник лекарственный	As (0.15)>Cd (0.02)>Pb (0.01)
	Донник белый	As (0.23)>Cd (0.03)>Pb (0.01)
Злаковые	Пырей ползучий	As (0.30)>Pb (0.01)=Cd (0.01)
	Житняк пустынный	As (0.28)>Pb (0.02)>Cd (0.01)
	Тростник южный	As (0.18)>Pb (0.02)>Cd (0.01)
Маревые	Лебеда раскидистая	As (0.48)>Cd (0.08)>Pb (0.01)
<b>Листья</b>		
Бобовые	Донник лекарственный	As (0.43)>Cd (0.02)=Pb (0.02)
	Донник белый	As (0.50)>Cd (0.03)>Pb (0.02)
Злаковые	Пырей ползучий	As (0.58)>Pb (0.02)=Cd (0.01)
	Житняк пустынный	As (0.35)>Pb (0.02)>Cd (0.01)
	Тростник южный	As (0.33)>Pb (0.02)=Cd (0.01)
Маревые	Лебеда раскидистая	As (1.48)>Cd (0.09)>Pb(0.02)

Изучаемые пастбищные растения отличались металлоустойчивостью по отношению к Cd и Pb.

Суммарный коэффициент биологического поглощения изучаемых растений представлен в таблице 5.

Надземная часть лебеды раскидистой характеризуется наибольшей биогеохимической активностью в поглощении Pb, Cd и As среди изучаемых растений. Наибольшей биогеохимической активностью корней отличается житняк пустынный.

**Таблица 5.** Коэффициент биогеохимической активности (БХА) пастбищных растений.

Семейство	Название растения	БХА		
		Листья	Стебли	Корни
Бобовые	Донник лекарственный	0.47	0.18	0.95
	Донник белый	0.55	0.27	1.91
Злаковые	Пырей ползучий	0.61	0.32	3.27
	Житняк пустынный	0.38	0.31	11.54
	Тростник южный	0.36	0.21	1.62
Маревые	Лебеда раскидистая	1.59	0.57	2.13

### Выводы

1. Содержание Pb, Cd и As в надземной части исследуемых растений значительно ниже максимально допустимого уровня, за исключением лебеды раскидистой, в листьях которой концентрация As достигала величины МДУ (0.5 мг/кг).

2. Обнаружена высокая степень накопления мышьяка корнями всех исследуемых растений, за исключением донника лекарственного. Концентрирование его до 1.26-4.5 мг/кг в корнях пырея ползучего и житняка пустынный может в последующем привести к обогащению поверхностного слоя почвы этим элементом.

3. Наибольшей биогеохимической активностью в поглощении Pb, Cd и As у изучаемых растений отличаются листья и стебли лебеды раскидистой, коэффициент БХА которых составил соответственно 1.59 и 0.57 и корни житняка пустынного с коэффициентом БХА – 11.54.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян А.Д.* 1974. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая. М.: Изд-во МГУ. 155 с.
- Алексеев В.А.* 1990. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Наука. 142 с.
- Белозубова Н.Ю.* 2011. Эколого-геохимическая оценка почв и особенности миграции токсичных элементов в агроценозах Волгоградской области. Российский государственный аграрный заочный университет. 154 с.
- Булатов А.П., Лушников Н.А., Усков Г.Е.* 2016. Химический состав и энергетическая ценность зеленых кормов по фазам вегетации и циклам стравливания // Вестник Курганской ГСХА. № 4. С. 27-32.
- Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. 1987. М. 5 с.
- ГОСТ Р 53100-2008. 2008. Средства лекарственные для животных, корма, кормовые добавки. Определение массовой доли кадмия и свинца методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Стандартинформ. 7 с.
- ГОСТ Р 53101-2008. 2009. Средства лекарственные для животных, корма, кормовые добавки. Определение массовой доли мышьяка методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Стандартинформ. 7 с.
- Грингоф И.Г., Бабушкин О.Л.* 2010. Климат, погода и пастбищное животноводство. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД. 352 с.
- Ефремов А.А., Шаталина Н.В., Стрижева Е.Н., Первышина Г.Г.* 2002. Влияние экологических

- факторов на химический состав некоторых дикорастущих растений Красноярского края // Химия растительного сырья. № 3. С. 53-56.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 439 с.
- Карпова Е.А., Потатужева Ю.А. 1991. Мышьяк в почвах и растениях // Химизация сельского хозяйства. Т. 4. С. 30-34.
- Лозицкий А.Я. 2012. Многокомпонентность как источник стабильности урожаев полупустынных пастбищ Прикаспия // Земледелие. № 6. С. 19-20.
- Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство: учебник для агрономических и зоотехнических специальностей сельскохозяйственных ВУЗов. Изд. 3-е, перераб. и доп. 1969 / Ред. И.В. Ларин. Ленинград: Колос. 548 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. М.: ЦИНАО. 61 с.
- Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. 2018. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Аридные экосистемы. Т. 24. № 3. С. 43-55. [Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Nazarenko O.G., Maksimov A.Yu., Zamulina I.V., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N. 2018. Accumulation of Heavy Metals by Forb Steppe Vegetation According to Long-Term Monitoring Data // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 3. P. 190-202.]
- Омариева Л.В. 2014. Влияние экологических факторов на накопление биологически активных веществ в плодах *Crataegus pentagyna* Waldst et Kit в условиях Дагестана // Юг России: экология, развитие. Т. 6. № 4. С. 28-31.
- Перельман А.И. 1966. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа. 389 с.
- ПНД Ф 16.1:2.2.3.17-98 – Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли мышьяка и сурьмы в твердых сыпучих материалах атомно-абсорбционным методом с предварительной генерацией гидридов. 2008. М. 26 с.
- Серегин И.В., Кожевникова А.Д. 2008. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. Т. 55. № 1. С. 3-26.
- Chaplygin V., Mandzhieva S., Minkina T., Sushkova S., Kizilkaya R., Gülser C., Zamulina I., Kravtsova N., Lobzenko I. and Chernikova N. 2019. Sustainability of agricultural and wild cereals to aerotechnogenic exposure // Environmental Geochemistry and Health. P. 1-13.
- Deng H., Ye Z.H., Wong M.H. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China // Environmental Pollution. No. 132 (1). P. 29-40.
- Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Motuzova G.V., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G. 2016. Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk Power Station in the south of Russia // Journal of Soils and Sediments. No.16 (4). P. 1383-1391.
- Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. 2014. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journal of Geochemical Exploration. No. 144. P. 241-246.
- Xiong T.T., Leveque T., Austruy A., Goix S., Schreck E., Dappe V., Sobanska S., Foucault Y., Dumat C. 2014. Foliar uptake and metal (loid) bioaccessibility in vegetables exposed to particulate matter // Environmental Geochemistry and Health. No. 36 (5). P. 897-909.