

УДК 626.82.004:631.459

Н. М. Макарова, А. В. Макаров

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ОЦЕНКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОМЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Цель наших исследований заключалась в определении качественного состояния почв и фитоценозов в районе животноводческих предприятий для изучения способности различных видов растений к фиксации и выведению из загрязненных биогенными элементами почв тяжелых металлов с возможностью использовать эти растения для фитомелиорации почв на эрозионно опасных территориях. Исследования проводили в условиях Ростовской области в балке учебного хозяйства «Донское» Донского государственного аграрного университета Октябрьского района Ростовской области, где отбирали пробы почвы и растительные образцы для последующего анализа на содержание тяжелых металлов. Выяснено, что в надземной массе наибольшее содержание свинца (0,24 мг/кг) и цинка (43,3 мг/кг) отмечено в циклахене дурнишниковидной; кадмия (0,09 мг/кг), никеля (2,9 мг/кг), кобальта (0,3 мг/кг) и марганца (80 мг/кг) – в лебедке раскидистой; железа (252 мг/кг) и меди (8,2 мг/кг) – в пырее ползучем. В корнях наибольшее количество свинца (0,74 мг/кг), кадмия (0,11 мг/кг), цинка (147,0 мг/кг), марганца (90,0 мг/кг) и меди (64,0 мг/кг) наблюдали у пырея ползучего; никеля (6,0 мг/кг) – у лебеды раскидистой; кобальта (0,82 мг/кг) и железа (1780 мг/кг) – у циклахены дурнишниковидной. Установлено, что наиболее перспективными из исследованных растений для фиторемедиации почв при биогенном загрязнении являются пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.) и циклахена дурнишниковидная (*Cyclachaena xanthiifolia* Nutt.).

Ключевые слова: тяжелые металлы, биогенные элементы, экологические системы, фитомелиорация почв, загрязнения биогенами, эрозионно опасные территории.

N. M. Makarova, A. V. Makarov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ESTIMATION OF CERTAIN SPECIES OF HERBAL PLANTS FOR PHYTORECLAMATION OF SOILS ON EROSION HAZARDOUS TERRITORIES

The purpose of our research was to determine the qualitative state of soils and phytocenoses in the livestock enterprises areas for studying the ability of various plant species to fix and remove heavy metals from contaminated soil elements for using these plants for soil phytoreclamation in erosion hazardous areas. The research was carried out in Rostov region in the gully of the educational establishment “Donskoe” of Don State Agrarian University in Oktyabrskiy District of Rostov Region, where soil and plant samples were selected for further analysis for the content of heavy metals. It was found out that in the green top the highest content of lead (0.24 mg/kg) and zinc (43.3 mg/kg) was noted in the sumpfwed (*Cyclachaena xanthiifolia* Nutt.); cadmium (0.09 mg/kg), nickel (2.9 mg/kg), cobalt (0.3 mg/kg) and manganese (80 mg/kg) were noted in common orache (*Atriplex patula*); iron (252 mg/kg) and copper (8.2 mg/kg) were found in the wheatgrass (*Elytrigia repens* L.). In the roots, the great-

est amount of lead (0.74 mg/kg), cadmium (0.11 mg/kg), zinc (147.0 mg/kg), manganese (90.0 mg/kg) and copper (64.0 mg/kg) was observed in the wheatgrass; nickel (6.0 mg/kg) was in the common orach (*Atriplex patida*); cobalt (0.82 mg/kg) and iron (1780 mg/kg) were found in the sumpweed. It has been determined that the most promising of the studied plants for phytoreclamation of soils under biogenic contamination are wheatgrass (*Elytrigia repens* L.) and sumpweed (*Cyclachaena xanthiifolia* Nutt.).

Key words: heavy metals, biogenic elements, ecological systems, soil phytoreclamation, pollution by biogenes, erosion-hazardous territories.

Введение. Цель наших исследований заключалась в определении качественного состояния почв и фитоценозов в районе животноводческих предприятий для изучения способности различных видов растений к фиксации и выведению из загрязненных биогенными элементами почв тяжелых металлов с возможностью использовать эти растения для фитомелиорации почв на эрозионно опасных территориях.

Прогрессивно возрастающая потребность в продуктах питания в условиях все большего отчуждения из оборота почв сельскохозяйственного назначения удовлетворяется в настоящее время с помощью целенаправленных антропогенных воздействий на почву.

При этом антропогенная нагрузка на экологические системы стремительно возрастает и выражается в поступлении в атмо-, гидро- и литосферу тяжелых металлов, относящихся к группе критерияльных ксенобиотиков, выбросы которых в атмосферу в виде тонких аэрозолей трансгранично переносятся на различные расстояния, вызывая повсеместное загрязнение. Входящие в состав стимуляторов роста растений, удобрений и сточных вод различного рода предприятий тяжелые металлы попадают как в почву, так и в водоемы по пути миграции почвенных частиц, вызванной процессами эрозии [1]. На сегодняшний день разработаны различные мероприятия по регулированию водного режима и баланса тяжелых металлов в условиях возрастающих антропогенных нагрузок [2].

В настоящее время с целью восстановления нарушенных экосистем используются различные методы рекультивации почв, в т. ч. простой и экономически эффективный метод фиторемедиации, т. е. очистки почв с помо-

щью растений-гипераккумуляторов [3]. По мнению А. Ф. Титова, «... растения обладают большим спектром защитных механизмов и свойством детоксикации тяжелых металлов. В силу индивидуальных свойств каждое растение специфично и выживает в конкретной среде обитания за счет клеточного гомеостаза, что и позволяет более устойчивым видам произрастать в условиях избытка тяжелых металлов в окружающей среде» [4]. При длительном выращивании этих растений обеспечивается удаление тяжелых металлов из загрязненных почв, или фитоэкстракция.

К таким растениям-фиторемедиантам предъявляется ряд требований. Растения должны:

- быть способны произрастать в зоне повышенных концентраций загрязнителей;
- накапливать в своей биомассе загрязнители;
- иметь наибольшую массу среди аналогичных растений – накопителей загрязнителей;
- быть устойчивыми к воздействию вредных организмов (вредителей и болезней) и условиям среды (температурному, солевому, питательному, водному режиму почвы, температурному режиму водной и воздушной среды, солевому режиму оросительной воды).

При этом обеспечение растений достаточным количеством питательных веществ достигается путем регулирования питательного режима почв на базе бездефицитного баланса элементов питания. Известно, что источниками образования и поступления питательных веществ служат органические и минеральные удобрения, азотфиксация, растительные остатки после их минерализации, перевод труднорастворимых соединений в усвояемую для растений форму и атмосферные осадки.

Производительный расход питательных элементов – это потребление их растениями, а непроизводительные расходы – это потери с нисходящими и поверхностными стоками вод, потери с почвой при водной эрозии и

дефляции, переход в газообразную форму и выделение в атмосферу. К непроизводительным расходам относят и потери за счет потребления питательных веществ сорными растениями, которые выносят их из почвы в сравнении с культурными видами в два-четыре раза больше. Так, по данным С. К. Кондрашова, с 1 га орошаемых земель растения будяка выносят азота 133,2 кг, фосфора – 31,0 кг и калия – 117,0 кг, растения осота – 67,0; 28,8 и 159,8 кг/га соответственно, а растения озимой пшеницы – всего 37,5; 19,8 и 36,0 кг/га соответственно [5].

Регулирование питательного режима в земледелии направлено не только на поддержание положительного баланса, но и на создание условий для расширенного воспроизводства плодородия почв и осуществляется посредством соблюдения правильного севооборота и рациональной механической обработки почв. Роль севооборота заключается во введении многолетних бобовых трав (люцерны, клевера и др.) и однолетних бобовых культур, накапливающих на каждом гектаре почв 100–150 и 40–50 кг азота соответственно; культур с высокой усваивающей способностью (люпина, горчицы, гречихи, донника), обогащающих почву элементами питания; глубокоукореняющихся культур (многолетних трав, подсолнечника, корнеплодов), использующих питательные элементы нижних слоев почв; пропашных культур, рыхление междурядий которых усиливает микробиологические процессы и обеспечивает поступление питательных веществ. Роль обработки почвы состоит в создании благоприятных свойств корнеобитаемого слоя, в применении в зоне недостаточного увлажнения мероприятий по оптимизации условий накопления влаги и мобилизации естественного плодородия почвы через усиление микробиологических процессов, в подавлении сорняков, вредителей и болезнетворных начал, в защите почвы от водной и ветровой эрозии.

Столь обширное и разностороннее содержание задач по обеспечению оптимизации природных условий произрастания сельскохозяйственных

культур и достижению их высокой продуктивности не может решаться какой-либо одной, даже самой наукоемкой, технологией, одной мелиоративной системой.

По Ю. А. Мажайскому [6], «для каждой конкретной водосборной территории следует разрабатывать самостоятельную систему земледелия с учетом природных факторов и уровня антропогенного воздействия и других внутренних различий водосбора. Конечной целью такой деятельности является получение максимального урожая путем снижения техногенной нагрузки на водные агросистемы и оздоровления нарушенной экологической обстановки. Для подобной водосборной площади разрабатывается своя система земледелия с учетом биоклиматического потенциала. Комплексная мелиорация повышает продуктивность земель и разнообразит ландшафт, а эти два показателя, как учит экология, определяют его устойчивость».

В настоящее время усилиями ученых-мелиораторов накоплен большой опыт по изучению влияния мелиорации на окружающую среду. Разработаны методы и способы улучшения природной среды в районах действия животноводческих комплексов [7, 8]. Однако задача предотвращения загрязнения водных экосистем продуктами деятельности животноводческих предприятий и устранения последствий такого загрязнения остается актуальной.

Поддерживать и защищать устойчивое состояние биогеоценозов призваны мелиоративные системы, создаваемые человеком. Под воздействием сельскохозяйственной деятельности человека на водосборах малых рек, в частности при орошении [9, 10] и производстве животноводческой продукции (навозные стоки и бесподстилочный навоз) [7], происходит избыточное накопление подвижных соединений металлов в почвах и растениях, грунтовых и поверхностных водах, что представляет угрозу здоровью населения. Эрозионные процессы приводят к свободной миграции различных элементов в системе «почвы – растения – водные ресурсы – животные и человек» [11–13]. Аккумуляторами продуктов эрозионного смыва, как

правило, выступают нижние и устьевые части балок. В этих условиях замедляются процессы движения взвешенных веществ, скапливается самая плодородная гумусовая часть горизонтов и загрязнения различной природы, в т. ч. и тяжелые металлы. К ним относятся 42 элемента, атомная масса которых превышает 40. Самыми опасными из них являются подвижные соединения, которые, свободно мигрируя, переходят в растения, где и накапливаются в большом количестве.

Проблема снижения их содержания решается с помощью мероприятий, включающих как химические, так и биологические мелиорации. К биологическим способам относят использование различных видов растений для выведения подвижных форм тяжелых металлов и других загрязнителей из почвы, воздуха, грунтовых и поверхностных вод, или фитомелиорацию.

Свойства растений аккумулировать в своих тканях различные загрязняющие вещества используются для очистки почв. Поиск растений – гипераккумуляторов тяжелых металлов должен сопровождаться учетом их наибольшей продуктивности и устойчивости к различным фитотоксикантам.

Материалы и методы. Определение урожайности травянистых ценозов и состояния почв в балках, загрязненных биогенными элементами, проводилось по результатам многолетних опытов в учебном хозяйстве «Донское» Донского государственного аграрного университета Октябрьского района Ростовской области. Исследования проводили на водосборной площади балки Харули, входящей в водоохранную зону реки Грушевки Октябрьского района Ростовской области. Балка расположена на территории учебного хозяйства «Донское» Донского государственного аграрного университета, на склонах балки находятся животноводческие фермы (овцеводческая, молочно-товарная на 500 голов и свиноводческая на 300 голов). На момент отбора растительных и почвенных образцов овцеводческая ферма не работала. Две другие производили товарную продукцию. Ниже ферм располагались прифермские лесные полосы различного породного и

видового состава, и рядом – насаждение санитарно-защитной зоны. В балке Харули были заложены экологические профили, перпендикулярные оси балки (рисунок 1). Три профиля пересекали прифермские лесные полосы, четвертый служил контролем и был заложен на открытом участке склона ниже фермы. Кроме того, точки отбора образцов закладывались вдоль профиля балки. Преобладающие почвы исследуемой территории хозяйства – южные черноземы.

В процессе исследований отбор проб почвы и сбор растительного материала (всего 72 пробы) осуществляли примерно по одним горизонталям местности, в точках экологических профилей, кратных высотам лесной полосы (H): место лесной полосы, $1H$, $3H$, $5H$, $10H$ – и по днищу балки. Почву для исследований отбирали из слоя 0–20 см в соответствии с ГОСТ 12071-73 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов».

Урожайность трав (всего 240 образцов) определяли метрочками в десятикратной повторности. Для выявления содержания тяжелых металлов в образцах растений (как в надземной, так и в корневой части) отбирали их среднюю пробу в каждой опытной точке. При этом были выбраны представители разных хозяйственных групп и видов растений из предварительно изученного ботанического состава каждого варианта опыта [14–16], которые произрастали в данной местности, были хорошо адаптированы к местным условиям среды, устойчивы к биогенной нагрузке и давали наибольшую урожайность. Пробы почв и растений в последующем анализировали в лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

В лабораторных условиях в отобранных образцах почвы определяли содержание тяжелых металлов 1-го класса опасности: свинца (Pb), кадмия (Cd), цинка (Zn); 2-го класса опасности: никеля (Ni), кобальта (Co), меди (Cu); 3-го класса опасности: марганца (Mn), а также железа (Fe) (классификация тяжелых металлов приводится по ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязне-

ния», Госстандарт, М., 1983). В образцах почв атомно-абсорбционным методом определяли содержание валовых (кислоторастворимых) форм меди, свинца, цинка, никеля, кадмия по РД 52.18.191-89, марганца – по ГОСТ 26486-85, кобальта и железа – по ПНД Ф 14.1:2.22-95.

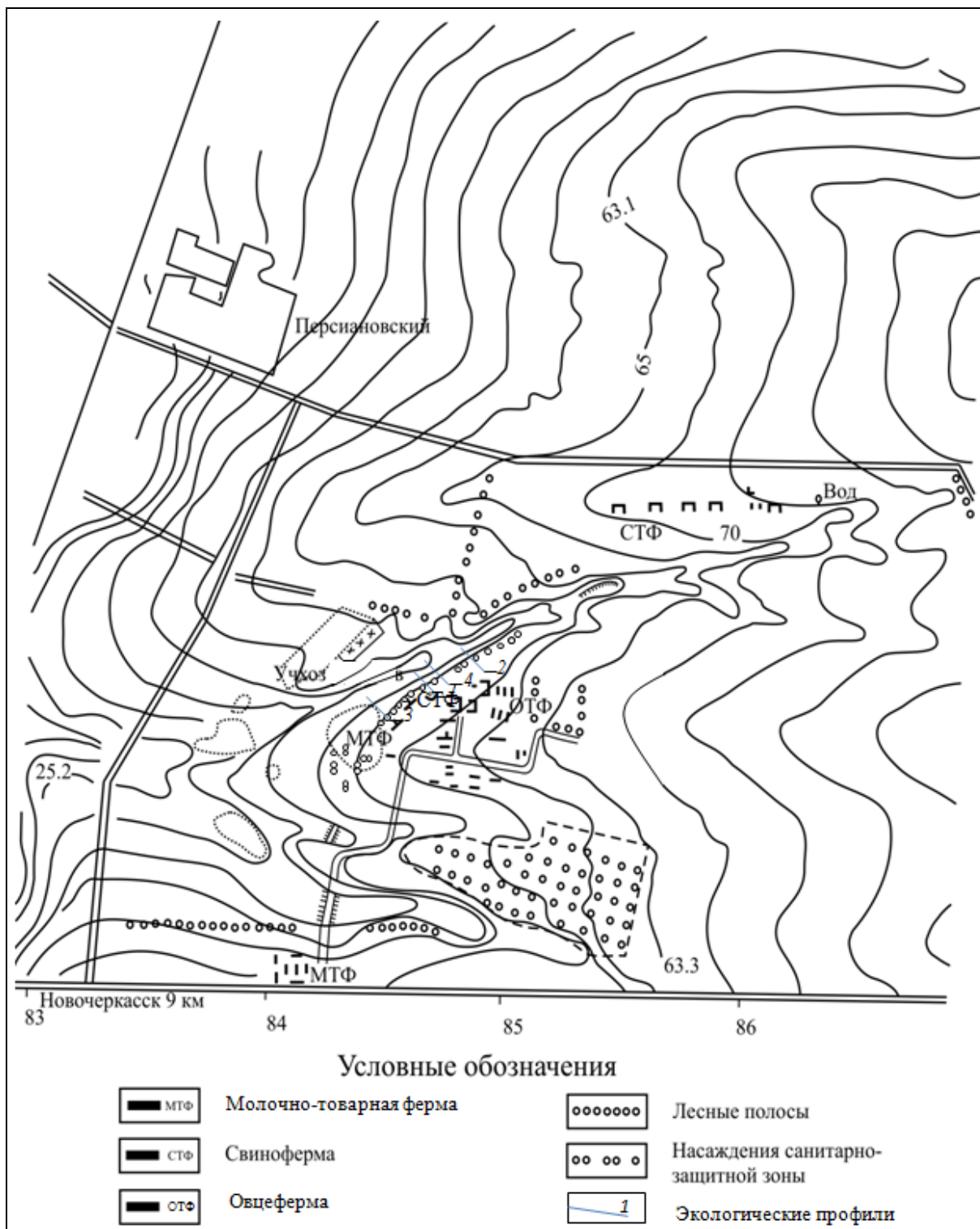


Рисунок 1 – План балки Харули (М 1:25000)

В растениях содержание всех вышеперечисленных микроэлементов определяли по ГОСТ 26929-94, ГОСТ 30178-96 и ГОСТ 30692-2000.

Результаты и обсуждение. Установлено, что в весенний период в районе опытного участка почвы, поверхностные и грунтовые воды оказываются значительно загрязненными биогенными элементами, что создало угрозу балочным и речным экосистемам. По нашим данным [17], на территориях молочного комплекса и свинофермы почвы склона (слой 0–20 см) содержат NO_3 175,9 и 109,7; NH_4 – 22,0 и 207,6; P_2O_5 – 15,5 и 35,5; K_2O – 130 и 160 мг/кг соответственно.

В местах, где древостой подвергался периодическому затоплению навозными стоками, насаждения полностью погибли. Участок лесной полосы ниже овцефермы сочетается с земляным валом (экопрофиль 2), а лесная полоса ниже свинофермы посажена на широкой террасе с обратным уклоном так, что навозные стоки не затопляют древостой (экопрофиль 1). Лесная полоса у молочного комплекса расположена вдоль склона и стоко-регулирующего значения не имеет (экопрофиль 3). Контролем служил участок без лесной полосы и вала (экопрофиль 4).

Урожайность трав по результатам наших исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Урожайность сена на склонах балки Харули по вариантам опыта

В т/га	
Место отбора образца, вариант	Урожайность, 2007 г.
1	2
Экопрофиль 1 ниже свинофермы (с лесной полосой)	
Полог лесной полосы	4,30
Ценоз травянистой растительности на расстоянии 1Н от лесной полосы	6,44
То же 3Н	5,18
То же 5Н	3,94
То же 10Н	5,31
Средняя	5,03
Экопрофиль 2 ниже овцефермы, проложен через лесную полосу, усиленную валом	
Полог лесной полосы	4,99
1Н	5,84
3Н	3,78

Продолжение таблицы 1

1	2
5Н	4,05
10Н	2,78
Средняя	4,29
Экопрофиль 3 ниже молочного комплекса, проложен через лесную полосу, усиленную валом	
Полог лесной полосы	3,81
1Н	4,48
3Н	3,19
5Н	2,66
10Н	5,45
Средняя	3,92
Экопрофиль 4 ниже свинофермы (контроль, без лесной полосы и вала)	
Место, где должна быть лесная полоса	8,87
Вниз по склону 8 м	9,21
То же 25 м	8,52
То же 41 м	7,94
То же 85 м	8,57
Средняя	8,62

Из данных таблицы 1 следует, что урожайность изменяется во всех точках профилей в зависимости от ботанического состава, наличия биогенов в почве, а также под влиянием лесных полос и выпаса скота. Максимальная продуктивность зафиксирована в точке 1Н (9,21 т/га) контрольного экопрофиля 4 без лесной полосы и вала, где присутствует, по данным наших опытов, биогенное загрязнение [18].

Биологическое разнообразие видов высших растений в районе опытного участка представлено не менее 71 видом растений из 26 семейств. По жизненным формам разнообразие представлено: 12 видами деревьев из 7 семейств, 3 видами кустарников из 2 семейств, 1 видом кустарничков, 27 видами травянистых многолетников из 12 семейств, 13 видами однолетников из 9 семейств. Наиболее богаты в видовом отношении балочные склоны (43 вида из 15 семейств), а на прибровочных участках склонов обитают 27 видов из 15 семейств.

На основании исследований было установлено, что максимальную устойчивость в условиях биогенного загрязнения имели следующие травянистые растения: из кормовых – пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.),

из сорных трав – лебеда раскидистая (*Atriplex patula* L.) и циклахена дурнишниковидная (*Cyclachaena xanthiifolia* Nutt.).

Вышеперечисленные виды относятся к рудеральным (пионерным) видам, которые, как правило, являются нитрофилами (растениями, обильно и хорошо растущими лишь на почвах, достаточно богатых усвояемыми соединениями азота).

По данным В. Б. Ильина [19] и Ю. В. Алексеева [20], биологически активное (экскременты животных) органическое вещество выступает как хороший адсорбент ионов, повышает буферность почвы, понижает концентрацию солей в почвенном растворе. Все это способствует снижению фитотоксичности тяжелых многовалентных металлов, препятствует поступлению некоторых из них в растения. Особенно хорошо это явление наблюдается на глинистых почвах.

В районе опытного участка в почвах определяли содержание тяжелых металлов (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание микроэлементов (валовая форма) в образцах почвы

Проба	Химический элемент							
	Pb	Cd	Ni	Zn	Co	Fe	Mn	Cu
Экопрофиль 4, вниз по склону 8 м	8,56	0,33	9,64	33,59	1,89	1780	50,55	15,66

Из данных таблицы 2 следует, что в районе отбора образцов микроэлементы, содержащиеся в почве опытного образца (экопрофиль 4, вниз по склону 8 м), образуют ряд: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. Таким образом, почвы опытного участка в большей степени содержали железа (1780 мг/кг) и марганца (50,55 мг/кг), в меньшей цинка (33,59 мг/кг), меди (15,66 мг/кг), никеля (9,64 мг/кг), свинца (8,56 мг/кг), кобальта (1,89 мг/кг) и кадмия (0,33 мг/кг).

Как показали наши исследования, в содержании тяжелых металлов в ранее названных растительных образцах имеется существенное различие (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание микроэлементов (валовая форма) в образцах надземной массы растений, 2008 г.

В мг/кг

Проба – экопрофиль 4, вниз по склону 8 м	Химический элемент							
	Pb	Cd	Ni	Zn	Co	Fe	Mn	Cu
Пырей ползучий	0,11	0,03	2,0	30,3	0,08	252	51,0	8,2
Лебеда раскидистая	0,17	0,09	2,9	24,3	0,30	74	80,0	4,5
Циклахена дурнишниково-листная	0,24	0,075	2,05	43,3	0,13	206	63,5	6,9

Микроэлементы (таблица 3), содержащиеся в надземной массе растений пырея ползучего, образуют ряд: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd, в надземной массе лебеды раскидистой: Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Co > Pb > Cd, циклахены дурнишниковолистной: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd.

Наибольшее содержание свинца (0,24 мг/кг) и цинка (43,3 мг/кг) наблюдается в надземной массе циклахены дурнишниковолистной, кадмия (0,09 мг/кг), никеля (2,9 мг/кг), кобальта (0,3 мг/кг) и марганца (80,0 мг/кг) – в лебедке раскидистой, железа (252 мг/кг) и меди (8,2 мг/кг) – в пырее ползучем.

В образцах корневой массы были получены аналогичные результаты (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание микроэлементов (валовая форма) в образцах корневой массы растений

В мг/кг

Проба – экопрофиль 4, вниз по склону 8 м	Химический элемент							
	Pb	Cd	Ni	Zn	Co	Fe	Mn	Cu
Пырей ползучий	0,74	0,11	4,5	147,0	0,60	1250	90,0	64,0
Лебеда раскидистая	0,46	0,05	6,0	20,0	0,48	520	16,0	6,0
Циклахена дурнишниковолистная	0,50	0,08	5,2	68,0	0,82	1780	35,0	50,0

Микроэлементы (таблица 4), содержащиеся в корневой массе растений пырея ползучего, образуют ряд: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd, в корневой массе лебеды раскидистой: Fe > Zn > Mn > Cu = Ni > Co > Pb > Cd, циклахены дурнишниковолистной: Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Co > Pb > Cd.

Так, наибольшее содержание свинца (0,74 мг/кг), кадмия (0,11 мг/кг), цинка (147,0 мг/кг), марганца (90,0 мг/кг) и меди (64 мг/кг) наблюдали

в корнях пырея ползучего, никеля (6,0 мг/кг) – в корнях лебеды раскидистой, кобальта (0,82 мг/кг) и железа (1780 мг/кг) – в корнях циклахены дурнишниковидной.

Выводы. Наиболее перспективными из исследованных растений для фитомелиорации почв, загрязненных биогенными элементами, в т. ч. тяжелыми металлами, оказались пырей ползучий и циклахена дурнишниковидная, которые являются яркими представителями флоры, относящейся к категории «злостных сорняков».

Список использованных источников

1 Линдиман, А. В. Мониторинг и фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. В. Линдиман, Ж. Ф. Гессе, Е. В. Барина // Физиологические, психофизиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни: сб. ст. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, г. Екатеринбург, 27 апреля 2015 г. / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург, 2015. – С. 100–107.

2 Рекомендации по регулированию водного режима и баланса тяжелых металлов увлажняемых почв при антропогенных нагрузках / Ю. А. Мажайский [и др.]; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации А. Н. Костякова. Мещ. фил. – Рязань: МФ ВНИИГиМ, 2001. – 177 с.

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

4 Устойчивость растений к тяжелым металлам: монография / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен; Ин-т биологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: Кар. науч. центр РАН, 2007. – 172 с.

5 Кондрашов, С. К. Орошаемое земледелие / С. К. Кондрашов. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 500 с.

6 Мажайский, Ю. А. Экологические факторы регулирования водного режима почв в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов / Ю. А. Мажайский. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 227 с.

7 Еськов, А. Н. Фиторемедиация почв, загрязненных бесподстилочным навозом / А. Н. Еськов, Ю. А. Духанин, С. И. Тарасов. – М.: Росинформагротех, 2004. – 100 с.

8 Зудилин, С. Н. Накопление травами тяжелых металлов / С. Н. Зудилин, А. А. Толпекин // Кормопроизводство. – 2005. – № 9. – С. 30–32.

9 Щедрин, В. Н. Математические методы прогнозирования в мелиорации / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. М. Игнатьев // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрной экономики в условиях импортозамещения: материалы междунар. науч.-практ. конф., 17 февраля 2016 г. – Персиановский: Донской ГАУ, 2016. – С. 151–158.

10 Васильев, С. М. Прогнозирование поступления загрязняющих веществ с орошаемых земель / С. М. Васильев // Вопросы мелиорации. – 2005. – № 7–8. – С. 59–66.

11 Васильев, С. М. Особенности учета миграции загрязнителей на оросительных системах Нижнего Дона / С. М. Васильев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2004. – № 9. – С. 247–252.

12 Васильев, С. М. Учет миграции загрязнителей на оросительных системах Нижнего Дона / С. М. Васильев, Е. А. Васильева // Вопросы мелиорации. – 2004. – № 5–6. – С. 120–123.

13 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

14 Луговодство и пастбищное хозяйство / И. В. Ларин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 600 с.

15 Пашков, Г. Д. Растительность / Г. Д. Пашков, Г. М. Зозулин // Природные условия и естественные ресурсы. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1986. – С. 259–285.

16 Флора Европейской части СССР: в 8 т. – Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1974–89 гг. – 8 т.

17 Макарова, Н. М. Лесомелиоративное регулирование потоков биогенных элементов на водосборах малых рек Нижнего Дона: монография / Н. М. Макарова; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Темп, 2008. – 154 с.

18 Макарова, Н. М. Изменение состава травянистых ценозов на балочных склонах в связи с их биогенным загрязнением / Н. М. Макарова // Мелиорация антропогенных ландшафтов: сб. тр. / НГМА. – Новочеркасск, 1997. – Т. 3. – С. 108–111.

19 Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.

20 Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю. В. Алексеев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.

References

1 Lindiman A.V., Hesse Zh.F., Barinova Ye.V., 2015. *Monitoring i fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami* [Monitoring and phytoremediation of contaminated with heavy metals soils]. *Fiziologicheskiye, psikhofiziologicheskie, pedagogicheskie i ekologicheskie problemy zdorov'ya i zdorovogo obraza zhizni: sb. st. VIII Vseros. nauchno-prakticheskoy konf. studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov* [Physiological, psychophysiological, pedagogical and ecological problems of health and a healthy lifestyle: collection of scientific articles VIII All-Russian scientific-practical conference of students, young scientists and specialists]. Ekaterinburg, pp. 100-107. (In Russian).

2 Mazhayskiy Yu.A. [and others], 2001. *Rekomendatsii po regulirovaniyu vodnogo rezhima i balansa tyazhelykh metallov uvlazhnyayemykh pochv pri antropogennykh nagruzkakh* [Recommendations on regulating water regime and the balance of heavy metals in moistened soils under anthropogenic loads]. *Ros. akad. selsokhozyaystvennykh nauk, Vseros. nauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii A. N. Kostyakova* [Russian Academy of Agricultural Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Reclamation named after A.N. Kostyakov]. Ryazan, Meshcherskiy branch VNIIGiM Publ., 177 p. (In Russian).

3 Lindeman A.V., Shvedova L.V., Tukumova N.V., Nevskiy A.V., 2008. *Fitoremediatsiya pochv, sodержashchikh tyazhelyye metally* [Phytoremediation of soils containing heavy metals]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], no. 9, pp. 45-47. (In Russian).

4 Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laydinen G.F., 2007. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam: monografiya* [Plant resistance to heavy metals: monograph]. Petrozavodsk, Car. sci. center of the Russian Academy of Sciences Publ., 172 p. (In Russian).

5 Kondrashov S.K., 1948. *Oroshayemoe zemledelie* [Irrigated agriculture]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 500 p. (In Russian).

6 Mazhayskiy Yu.A., 2001. *Ekologicheskie faktory regulirovaniya vodnogo rezhima*

pochv v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya agrolandshaftov [Ecological factors of soil water regime regulation under the conditions of technogenic pollution of agro landscapes]. Moscow, Moscow State University Publ., 227 p. (In Russian).

7 Eskov A.N., Dukhanin Yu.A., Tarasov S.I., 2004. *Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh bespodstilochnym navozom* [Phytoremediation of soils contaminated with liquid manure]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 100 p. (In Russian).

8 Zudilin S.N., Tolpekin A.A., 2005. *Nakoplenie travami tyazhelykh metallov* [Accumulation of heavy metals by herbs]. *Kormoproizvodstvo* [Forage Production], no. 9, pp. 30-32. (In Russian).

9 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Ignatyev V.M., 2016. *Matematicheskie metody prognozirovaniya v melioratsii* [Mathematical methods of forecasting in land reclamation]. *Sovremennoe sostoyanie i prioritetye napravleniya razvitiya agrarnoy ekonomiki v usloviyakh importozameshcheniya: materialy mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf.* [Current state and priority directions of the agrarian economy development under conditions of import substitution. Proceed. of International scientific-practical conf.]. Persianovskiy Donskoy State University Publ., pp. 151-158. (In Russian).

10 Vasilyev S.M., 2005. *Prognozirovaniye postupleniya zagryaznyayushchikh veshchestv s oroshayemykh zemel'* [Forecasting of contaminants input from irrigated lands]. *Voprosy melioratsii* [Issues of Land Reclamation], no. 7-8, pp. 59-66. (In Russian).

11 Vasilyev S.M., 2004. *Osobennosti ucheta migratsii zagryazniteley na orositel'nykh sistemakh* [Peculiarities of pollutant migration recording on the irrigation systems of the Lower Don]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bull. University news. North Caucasian region. Technical sciences series], no. 9, pp. 247-252. (In Russian).

12 Vasilyev S.M., Vasilyeva Ye.A., 2004. *Uchet migratsii zagryazniteley na orositel'nykh sistemakh Nizhnego Dona* [Migration pollution recording in the irrigation systems of the Lower Don]. *Voprosy melioratsii* [Issues of Land Reclamation], no. 5-6, pp. 120-123. (In Russian).

13 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2011. *Teoriya i praktika al'ternativnykh vidov orosheniya chernozemov yuga Yevropeyskoy territorii Rossii: monografiya* [Theory and practice of alternative types of irrigation of chernozems in the south of the European territory of Russia: monograph]. Novochoerkassk, Lick Publ., 435 p. (In Russian).

14 Larin I.V. [and others], 1990. *Lugovodstvo i pastbishchnoye khozyaystvo* [Grassland culture and pasture farming]. 2nd ed., updated and revised. Leningrad, Agropromizdat Publ., 600 p. (In Russian).

15 Pashkov G.D., Zozulin G.M. 1986. *Rastitelnost'* [Vegetation]. *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy* [Natural conditions and natural resources]. Rostov-on-Don, Rostov University Publ., pp. 259-285. (In Russian).

16 *Flora Yevropeyskoy chasti SSSR: v 8 t.* [Flora of the European part of the USSR: in 8 vol.]. Leningrad, Nauka Publ., 1974-89, 8 vol. (In Russian).

17 Makarova N.M., 2008. *Lesomeliorativnoe regulirovanie potokov biogenykh elementov na vodosborakh malykh rek Nizhnego Dona: monografiya* [Forest reclamation regulation of biogenic elements flows in catchments of small rivers of the Lower Don: monograph]. Novochoerkassk, Temp Publ., 154 p. (In Russian).

18 Makarova N.M., 1997. *Izmeneniye sostava travyanistykh tsenozov na balochnykh sklonakh v svyazi s ikh biogennym zagryazneniem*. *Melioratsiya antropogennykh landshaftov: sb. tr.* [Land reclamation of anthropogenic landscapes: collection of works]. NGMA. Novochoerkassk, vol. 3, pp. 108-111. (In Russian).

19 Ilyin, V.B., 1991. *Tyazhelyye metally v sisteme pochva – rastenie* [Heavy metals in the soil – plant system]. Novosibirsk, Science, Sib. Depart. Publ., 151 p. (in Russian).

20 Alekseev Yu.V., 2008. *Tyazhelye metally v agrolandshafte* [Heavy metals in agrolandscape]. St. Petersburg, PNPI RAS Publ., 216 p. (In Russian).

Макарова Нина Михайловна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: заведующая отделом аспирантуры

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: пр. Баклановский, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: n_gak@mail.ru

Makarova Nina Mikhaylovna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Head of the Department of the Graduate School

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: n_gak@mail.ru

Макаров Алексей Викторович

Должность: аспирант

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: uk-rostov@yandex.ru

Makarov Aleksei Viktorovich

Position: Graduate Student

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: uk-rostov@yandex.ru