

- ных и сточных вод, водных вытязhek из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребленija. – М., 2014. – 36 с.
9. PND F T 14.1:2:3:4.12-06, T 16.1:2:2.3:3.9-06. Metodika izmerenij količestva *Daphnia magna* Straus dlja opredelenija toksichnosti pit'evyh, presnyh prirodnyh i stočnyh vod, vodnyh vytjazhek iz gruntov, počhv, osadkov stočnyh vod, othodov proizvodstva i potreblenija metodom prjamogo scheta. – М., 2014. – 39 с.
10. *Hizhnjak S.V., Shevel'ov D.I., Samojlova V.A.* Vlijanie biogennyh nanochastic ferrigidrita na jeffektivnost' protravlivanija semjan pshenicy // *Vestn. KrasGAU*. – 2015. – № 10. – S. 179–182.
11. *Teremova M.I., Petrakovskaya E.A., Romanchenko A.S.* et al. Ferritization of industrial waste water and microbial synthesis of iron-based magnetic nanomaterials from sediments // *Environmental Progress and Sustainable Energy*. – 2016. – T. 35, № 5. – S. 1407–1414.

УДК 631.4-631.82

*И.И. Шепелев, Е.Н. Еськова, А.М. Немеров,
И.С. Стыглиц, Р.В. Кочетков*

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ФИТОСАНАЦИИ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ**

*I.I. Shepelev, E.N. Eskova, A.M. Nemerov,
I.S. Styglits, R.V. Kochetkov*

**THE DEVELOPMENT OF COMPLEX ACTIONS ON PHYTOSANITATION FOR RESTORATION OF
AGROECOSYSTEMS IN INDUSTRIAL REGION**

Шепелев И.И. – д-р техн. наук, проф. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: Ekoing@mail.ru

Еськова Е.Н. – канд. биол. наук, доц., зав. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: nikeskov@mail.ru

Немеров А.М. – директор по экологии и качеству АО «РУСАЛ Ачинск», Красноярский край, г. Ачинск, асп. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: Ekoing@mail.ru

Стыглиц И.С. – асп. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: styglit@mail.ru

Кочетков Р.В. – специалист по обращению с отходами АО «РУСАЛ Ачинск», Красноярский край, г. Ачинск. E-mail: Ekoing@mail.ru

Shepelev I.I. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: Ekoing@mail.ru

Eskova E.N. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: nikeskov@mail.ru

Nemerov A.M. – Director in Ecology and Quality, JSC “RUSAL”, Achinsk, Krasnoyarsk Region, Achinsk. Post-Graduate Student, Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: Ekoing@mail.ru

Styglits I.S. – Post-Graduate Student, Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: styglit@mail.ru

Kochetkov R.V. – Specialist in Dealing with Waste, JSC “RUSAL”, Achinsk, Krasnoyarsk Region, Achinsk. E-mail: Ekoing@mail.ru

Цель исследования – определение перспективных видов многолетних травянистых растений для фитосанации почвенного покрова на загрязненных территориях в районе шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск». Задачи исследования: проанализировать химический состав техногенных промпродуктов, используемых для санации загрязненных почв; оценить в лабораторно-вегетационном опыте адаптацию разных травосмесей многолетних трав для произрастания на экспериментальных субстратах. Исследования

*проводились в Красноярском ГАУ согласно типовым методикам. Из адаптированных к условиям Сибири многолетних трав – *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Melilotus officinalis* и *Trifolium repens* L. составлено три варианта травосмесей. Эффективность их использования для фиторемедиационных целей изучалась в лабораторно-вегетационном эксперименте. В качестве субстратов для проращивания смешивался почвогрунт с 4 реперных участков с илом со дна пруда-охладителя сбросных вод ТЭЦ АО «РУСАЛ*

Ачинск», вскрышной породой добычи песка в пойме р. Чулым и илом с левобережных очистных сооружений г. Ачинска (5-летним). Всего изучено 14 вариантов субстратов. На основании анализа химического состава техногенных промпродуктов (вскрышной породы добычи песка в пойме р. Чулым; ила со дна пруда-охладителя вод ТЭЦ АО «РУСАЛ Ачинск»; ила (5-летнего) с левобережных очистных сооружений г. Ачинска) можно рекомендовать их для использования в качестве компонентов субстратов, предназначенных для санации территории, примыкающей к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск». По итогам лабораторно-вегетационных исследований установлена эффективность использования для фитосанации техногенно-нарушенных территорий в районе шламохранилища травосмеси следующего состава – мятлик луговой, тимофеевка луговая и клевер белый, или ползучий, в процентном соотношении 40 : 40 : 20.

Ключевые слова: фитосанация, фиторемедиация, ил с очистных сооружений, супесь вскрышной породы, потенциально плодородный слой, шламовая карта.

The purpose of the study was the definition of perspective species of perennial grassy plants for phytosanitation of soil cover in polluted territories around the slurry storage of JSC 'RUSAL Achinsk'. The research problems were to analyse chemical composition of technogenic industrial product used for sanitation of polluted soils; to estimate in laboratory and vegetative experiment the adaptation of different grass mixes of perennial herbs for growth on experimental substrata. The researches were conducted in Krasnoyarsk SAU according to standard techniques. From perennial herbs adapted for conditions of Siberia – Poa pratensis L., Phleum pratense L., Melilotus officinalis and Trifolium repens L. three options of the grass mix were made. The efficiency of their use for phytoremediation purposes was studied in laboratory and vegetative experiment. As substrata for soil germination from 4 reference sites with silt from the bottom of a pond cooler of exhaust waters of combined heat and power plant JSC "RUSAL Achinsk", overburden bed rock of production of sand in the floodplain of the Chulym River and silt from left-bank treatment facilities of Achinsk mixed up (5-year-old). In total 14 options of substrata were studied. On the basis of the analysis of chemical composition of technogenic industrial product (overburden bed rock of production of sand in the floodplain of the Chulym River; silt from the bottom of a pond cooler of waters of heat and power plant JSC "RUSAL Achinsk"; silt of Achinsk, (5-year) from left-bank treatment facilities) it is possible to recommend them for using as components of the substrata intended for sanitation of the territory adjoining the vslur-

ry storage of JSC "RUSAL Achinsk". Following the results of laboratory and vegetative researches the efficiency of using for phytosanitation of technogenic broken territories around the slurry storage of grass mix of the following structure – meadow grass meadow, herd grass meadow and clover white, or creeping, in percentage the ratio 40 was established: 40: 20.

Keywords: phytosanitation, phytoremediation, silt from treatment facilities, sandy loam of overburden bed rock, potentially fertile layer, slurry card.

Введение. Одной из актуальных проблем современного природопользования является деградация почвенного покрова на огромных массивах хозяйственно значимых земель. Это обуславливает нарушение функциональных связей всех компонентов агроэкосистем и дезорганизацию глобальных геохимических потоков. При этом наблюдается массовое проникновение поллютантов в миграционные циклы химических соединений [3, 5, 7].

Известно, что АО «РУСАЛ Ачинск» является крупнейшим производителем глинозема в нашей стране. Неотъемлемой частью технологического процесса получения глинозема является размещение отходов на шламохранилище, представляющем собой гидротехническое сооружение намывного типа площадью 451 га. В процессе эксплуатации шламохранилища наблюдается загрязнение прилегающей к нему территории дренажными водами.

Чтобы восстановить техногенно нарушенные земли, необходимо разработать комплексную систему агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, и в частности, фитосанацию почвенного покрова [1, 2]. Обязательным этапом является обоснование использования конкретных видов растений, создающих устойчивый травяной покров и обладающих высокой адаптацией к техногенному загрязнению почвы [9]. Для этого первоначально в лабораторных условиях изучались особенности роста и развития растений на экспериментальных субстратах, которые планируется использовать при рекультивации территории.

Цель исследования: определить перспективные виды многолетних травянистых растений для фитосанации почвенного покрова на загрязненных территориях в районе шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск».

Задачи исследования:

– проанализировать химический состав техногенных промпродуктов, используемых для санации загрязненных почв;

– оценить в лабораторно-вегетационном опыте адаптацию разных травосмесей многолетних трав для произрастания на экспериментальных субстратах.

Методика проведения исследования. На основании анализа литературных источников были определены адаптированные к условиям Сибири многолетние травы – это мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), донник желтый (*Melilotus officinalis*), клевер ползучий, или белый (*Trifolium repens* L.), и составлены несколько вариантов травосмесей [4, 8, 12, 13].

Перспективность разных вариантов травосмесей многолетних трав для фиторемидиационных целей изучалась в лабораторно-вегетационном экспери-

менте на базе кафедры экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета в 2017 году.

Для приготовления субстратов использовался почвогрунт с 4 реперных участков и следующие техногенные промпродукты: ил со дна пруда-охладителя сбросных вод ТЭЦ АО «РУСАЛ Ачинск»; супесь вскрышной породы добычи песка в пойме р. Чулым; ил с левобережных очистных сооружений г. Ачинска (5-летний). Субстраты готовились по схеме, указанной в таблице 1.

Таблица 1

Варианты экспериментальных субстратов, используемых в опыте

Вариант	Состав	Соотношение компонентов
Участок А		
1.1	Грунт	1
1.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1 : 1 : 1
1.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1 : 0,5 : 0,5
1.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1 : 1 : 0,5
Участок В		
2.1	Грунт	1
2.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1 : 1 : 1
2.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1 : 0,5 : 0,5
2.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1 : 1 : 0,5
Участок С		
3.1	Грунт	1
3.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1 : 1 : 1
3.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1 : 0,5 : 0,5
3.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1 : 1 : 0,5
Участок D		
4.1	Грунт	1
4.2	Грунт : супесь	1 : 0,5

Лабораторно-вегетационный опыт закладывался в трехкратной повторности в сосудах объемом 0,5 л согласно требованиям типовых методик [10, 11]. Подготовленные субстраты предварительно увлажнялись. Затем производился посев травосмесей на глубину 1–1,5 см. На 24-й день определялась биомасса растений.

Для посева использовались три варианта смесей многолетних трав:

- вариант № 1 – мятлик луговой – 50 %, тимофеевка луговая – 50 %;
- вариант № 2 – мятлик луговой – 40 %, тимофеевка луговая – 40 %, донник желтый – 20 %;

– вариант № 3 – мятлик луговой – 40 %, тимофеевка луговая – 40 %, клевер белый – 20 %.

Результаты исследования. По данным протоколов испытаний ФГБУ «Красноярского референтного центра Россельхознадзора» проанализирован химический состав используемых техногенных промпродуктов. Данные лабораторного анализа приведены в таблицах 2 и 3, из которых видно, что ил со дна пруда охладителя сбросных вод ТЭЦ имеет щелочную реакцию среды (рН водной вытяжки 8,6), очень низкое содержание органического вещества (< 1,0) и нитратного азота, высокое количество подвижного фосфора и обменного калия, среднее – марганца.

Таблица 2

**Химический состав техногенных промпродуктов
(по данным протоколов испытаний ФГБУ «Красноярского референтного центра Россельхознадзора»)**

Компонент	рН водной вытяжки	Орган. ве- щество, %	Фосфор по- движный	Калий по- движный	Mn	N-NO ₃
Ил со дна пруда-охладителя сбросных вод ТЭЦ	8,6	< 1,0	72,0	1498,0	237,8	< 2,8
Ил с очистных сооружений (5-летнего хранения)	6,3	50,2	1670	543	720,4	394
Супесь вскрышной породы	7,8	< 1,0	106,0	81,0	-	< 2,8

По своей характеристике супесь вскрышной породы добычи песка близка к илу со дна пруда охладителя сбросных вод ТЭЦ, но отличается менее щелочной реакцией среды, сравнительно низким содержанием форм подвижного калия и отсутствием марганца.

Анализ химического состава ила с очистных сооружений г. Ачинска 5-летнего хранения указывает на его нейтральную реакцию среды и высокое содержание органического вещества и подвижных соединений фосфора, азота, марганца и обменного калия, содержание тяжелых металлов не превышает нормативов безопасности.

Таблица 3

**Химический состав ила с очистных сооружений г. Ачинска
5-летнего хранения (по данным протоколов испытаний ФГБУ «КРЦ Россельхознадзора»)**

Компонент	Cd	Cu	F (подв.)	Pb
	мг/кг			
Ил с очистных сооружений (5-летнего хранения)	2,47	126,7	< 0,95	19,75
Норматив	2,00	132,00	2,80	32,00

Таким образом, ил с левобережных очистных сооружений г. Ачинска и супесь вскрышной породы добычи песка в пойме реки Чулым соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям и могут быть использованы в качестве компонентов субстрата для санации загрязненных почв территорий,

прилегающих к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск».

Для участка А изучались 4 варианта смешивания компонентов грунтов. Полученные результаты по фитомассе приведены в таблице 4.

Таблица 4

Биомасса растений, полученная на разных опытных вариантах

Вариант	Состав	Соотношение компонентов	Биомасса растений, г/м ²		
			Смесь № 1	Смесь № 2	Смесь № 3
1	2	3	4	5	6
7					
1.1	Грунт	1	0	0	0
1.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1:1:1	243,5±6,7	189,6±10,3	293,6±6,8
1.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1:0,5:0,5	364,9±14,1	246,3±13,2	380,9±9,4
1.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1:1:0,5	222,7±6,5	155,3±11,3	255,9±7,5

1	2	3	4	5	6
Участок В					
2.1	Грунт	1	0	0	0
2.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1:1:1	256,8±8,7	145,6±5,9	298,7±7,7
2.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1:0,5:0,5	346,7±10,5	292,2±10,4	376,3±11,1
2.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1:1:0,5	312,9± 13,1	160,8±8,7	325,5±8,7
Участок С					
3.1	Грунт	1	114,3±5,8	80,6±6,2	152,9±6,4
3.2	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : супесь	1:1:1	277,1±11,3	252,2±12,2	301,5±9,3
3.3	Грунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь	1:0,5:0,5	401,3±12,5	363,2±14,3	436,2±7,5
3.4	Грунт : ил со дна пруда-отстойника ТЭЦ : ил с очистных сооружений г. Ачинска	1:1:0,5	244,7±13,4	220,0±11,0	264,3±12,4
Участок D					
4.1	Грунт	1	122,7±9,1	89,5±7,6	145,6±13,2
4.2	Грунт : супесь	1:0,5	319,5±11,2	241,2±9,4	375,4±10,3

Установлено, что на варианте 1.1 (загрязненный почвогрунт – 100 %) всходы растений были единичными и быстро погибали. Наибольшей продуктивностью среди изучаемых субстратов, приготовленных на основе образцов с реперного участка А, характеризовался вариант 1.3 – почвогрунт : ил с очистных сооружений г. Ачинска : супесь в соотношении 1:0,5:0,5. Зафиксирована достоверная разница с вариантами 1.2 и 1.4. Среди травосмесей наиболее продуктивной оказалась смесь № 3 – мятлик – 40 %, тимофеевка – 40 %, клевер белый – 20 %.

Подобные результаты были получены и на субстратах с реперных участков В и С.

Испытание травосмесей, где основой служил почвогрунт с участка D, показало достоверное превосходство по продуктивности трав на составе 4.2 – почвогрунт : супесь, над вариантом 4.1 – почвогрунт. Лучшей травосмесью признана, как и в предыдущих вариантах, смесь № 3 : мятлик – 40 %, тимофеевка – 40 %, клевер белый – 20 %, второе ранговое положение занимает смесь № 1 (мятлик – 50 %, тимофеевка – 50 %). Наименьшая биомасса получена при использовании травосмеси № 2: мятлик – 40 %, тимофеевка – 40 %, донник желтый – 20 %. Разница статистически достоверна.

Выводы. На основании анализа химического состава техногенных промпродуктов (вскрышной по-

роды добычи песка в пойме р. Чулым; ила со дна пруда-охладителя вод ТЭЦ АО «РУСАЛ Ачинск»; ила 5-летнего хранения с левобережных очистных сооружений г. Ачинска) можно рекомендовать их для использования в качестве компонентов субстратов, предназначенных для восстановления нарушенной территории, примыкающей к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск».

По итогам лабораторно-вегетационных исследований установлена эффективность использования для фитосанации техногенно-нарушенных территорий в районе шламохранилища травосмеси следующего состава – мятлик луговой, тимофеевка луговая и клевер белый (или ползучий) в процентном соотношении 40 : 40 : 20.

Применение нетоксичных техногенных материалов в качестве компонентов субстратов и посев смеси многолетних трав обеспечивают почвовосстанавливающую роль и нормальное функционирование агроэкосистемы в промышленном регионе при сравнительно низких энерго- и капиталовложениях.

Литература

1. Бричкова Г.Г. Использование растений для очистки территорий, загрязненных тяжелыми

- металлами // Вести НАН Беларуси. – 2003. – № 1. – С. 25–28.
2. Буравцев В.Н., Крылова Н.П. Современные технологические схемы фиторемедиации загрязненных почв // Сельскохозяйственная биология. Сер. «Биология растений». – 2005. – № 5. – С. 67–75.
 3. Гаджиев И.М., Курачев В.М., Рагим-заде Ф.К. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 303 с.
 4. Гончаров П.Л. Кормовые культуры Сибири. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 1992. – 263 с.
 5. Влияние антропогенного загрязнения на свойства почв // под ред. Л.А. Гришиной. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 205 с.
 6. Загрязняющие вещества в окружающей среде // под ред. А. Моцик, Д.Л. Пинского. – Пушино; Братислава, 1991. – 195 с.
 7. Деградация и охрана почв // под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
 8. Константинов М.Д., Ломова Т.М., Кухарь М.А. Фитомелиоративные луговые севообороты на солонцовых почвах Западной Сибири. – Новосибирск, 2011. – 103 с.
 9. Мартьянычев А.В. Применение фиторемедиации почв для очистки земель сельскохозяйственного назначения // Вестн. НГИЭИ. – 2012. – № 10. – С. 56–63.
 10. Методические указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах / ВНИИК им. В.Р. Вильямса. – М., 1996. – 98 с.
 11. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В.И. Карпин, Н.И. Переправо, В.Н. Золотарев [и др.]. – М.: Изд-во РГАУ МСХА, 2012. – 16 с.
 12. Мухина Н.А., Бухтеева А.В., Пивоварова Н.С. Кормовые культуры Сибири. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 158 с.
 13. Петрук В.А. Формирование высокопродуктивных агроценозов многолетних трав в Средней и Западной Сибири: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Новосибирск, 2008. – 415 с.
- Literatura**
1. Brichkova G.G. Ispol'zovanie rastenij dlja ochistki territorij, zagryzennnyh tzhzhelymi metallami // Vesti NAN Belarusi. – 2003. – № 1. – S. 25–28.
 2. Buravcev V.N., Krylova N.P. Sovremennye tehnologicheskie shemy fitoremediacii zagryzennnyh pochv // Sel'skhozjajstvennaja biologija. Ser. «Biologija rastenij». – 2005. – № 5. – S. 67–75.
 3. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Ragim-zade F.K. Jekologija i rekul'tivacija tehnogennyh landshaftov. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1992. – 303 s.
 4. Goncharov P.L. Kormovye kul'tury Sibiri. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 1992. – 263 s.
 5. Vlijanie antropogennogo zagryznenija na svojstva pochv // pod red. L.A. Grishinoj. – M.: Izd-vo MGU, 1990. – 205 s.
 6. Zagryznojajushhie veshhestva v okruzhajushhej srede // pod red. A. Mocik, D.L. Pinskogo. – Pushhino; Bratislava, 1991. – 195 s.
 7. Degradacija i ohrana pochv // pod red. G.V. Dobrovolskogo. – M.: Izd-vo MGU, 2002. – 654 s.
 8. Konstantinov M.D., Lomova T.M., Kuhar' M.A. Fitomeliiorativnye lugovye sevooboroty na soloncovyh pochvah Zapadnoj Sibiri. – Novosibirsk, 2011. – 103 s.
 9. Mart'janychev A.V. Primenenie fitoremediacii pochv dlja ochistki zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija // Vestn. NGIJel. – 2012. – № 10. – S. 56–63.
 10. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju nauchnyh issledovanij na senokosah i pastbishhah / VNIIK im. V.R. Vil'jamsa. – M., 1996. – 98 s.
 11. Metodika opredelenija sily rosta semjan kormovyh kul'tur / V.I. Karpin, N.I. Perepravo, V.N. Zolotarev [i dr.]. – M.: Izd-vo RGAU MSHA, 2012. – 16 s.
 12. Muhina N.A., Buhteeva A.V., Pivovarova N.S. Kormovye kul'tury Sibiri. – M.: Rossel'hozizdat, 1986. – 158 s.
 13. Petruk V.A. Formirovanie vysokoproduktivnyh agrocenozov mnogoletnih trav v Srednej i Zapadnoj Sibiri: dis. ... d-ra s.-h. nauk. – Novosibirsk, 2008. – 415 s.