

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ КОНСЕРВАЦИЯ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Водолеев А.С.¹, д.с/х.н., профессор кафедры теплоэнергетики
и экологии (botanik-egf@yandex.ru)

Андроханов В.А.², д.биол.н., зам. директора по научной работе,
заведующий лабораторией (androhan@rambler.ru)

Бердова О.В.¹, ст. преподаватель кафедры открытых горных работ
и электромеханики (olgaberдова1810@mail.ru)

Юмашева Н.А.¹, ст. методист Учебного центра охраны труда
и пром. безопасности (vegunata@mail.ru)

Черданцева Е.С.³, преподаватель (cherdantseva86@mail.ru)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, г. Новокузнецк, Кемеровская обл., ул. Кирова, 42)

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
(630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2)

³ Новокузнецкий торгово-экономический техникум
(654041, Россия, г. Новокузнецк, Кемеровская обл., ул. Кутузова, 84)

Аннотация. Рекультивация включает в себя комплекс мероприятий, направленных на формирование на поверхности промышленных отвалов благоприятного корнеобитаемого слоя различными способами с последующим использованием этой площади. Консервация – это закрепление поверхности отвалов механическим путем или путем озеленения поверхности отвалов при предварительном нанесении минимального слоя почвы, торфа, минеральных удобрений, ростовых веществ, нетрадиционных почвоулучшителей – осадков сточных вод (ОСВ). В результате проведенных работ на поверхности отходов железорудного обогащения обогатительной Абагурской агломерационной фабрики были сформированы техноземы – искусственные почвы с корнеобитаемым слоем, состоящим из смеси ОСВ и материала хвостохранилищ. Созданы рекультивированные участки на отходах железорудного обогащения, которые обеспечивают эрозионную устойчивость поверхности хвостохранилищ и консервацию отходов обогащения. Химические и агрохимические параметры техноземов на протяжении двух лет их развития изменились. Наблюдается некоторое подщелачивание среды и резкое снижение содержания в субстрате корнеобитаемого слоя, количества органического вещества и всех форм азота. Биомониторинг рекультивированных опытных площадок позволяет оптимизировать и ускорить процесс формирования культурфитоценозов на отходах промышленного производства, следить за состоянием и развитием травостоя, отслеживать процесс восстановления плодородия нарушенных земель, рассчитывать экологический и экономический эффект проводимых рекультивационных работ. По результатам мониторинга опытных участков на территории хвостохранилищ обогатительной Абагурской агломерационной фабрики установлено, что через 2 – 3 года создаются благоприятные условия для формирования на субстрате хвостохранилища корнеобитаемого слоя и устойчивого культурфитоценоза. В результате внесения ОСВ происходит улучшение физического и питательного режимов на поверхности хвостохранилища. Во всех вариантах способов размещения ОСВ достигнут положительный эффект – рост наземной биомассы с увеличением нормы внесения ОСВ. Показана почвенно-экологическая перспективность использования ОСВ в качестве мелиоранта, существенно улучшающего химико-физические свойства промышленных отвалов, что позволяет создавать долговременные, устойчивые фитоценозы защитного и санитарно-гигиенического назначения.

Ключевые слова: рекультивация, консервация, отходы железорудного обогащения, биомониторинг, корнеобитаемый слой, культурфитоценоз, техноземы, фитотоксичность.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-10-792-797

Любая нарушенная территория техногенного происхождения проходит в своем развитии две фазы – техногенного формирования и посттехногенного развития [1 – 5]. Ведущими механизмами трансформации техногенных ландшафтов в естественные являются биологические процессы, приводящие к восстановлению и развитию биогеоценоза. Формирование ценозов любого уровня определяется почвенно-экологической эффективностью рекультивации, которая зависит от уровня использования ресурсов рекультивации. В свя-

зи с различными целями рекультивации применяются те или иные технологии, направленные на создание условий развития почвенно-биологических процессов на нарушенных территориях.

Биомониторинг рекультивированных опытных площадок позволяет оптимизировать и ускорить процесс формирования культурфитоценозов на отходах промышленного производства, следить за состоянием и развитием травостоя, отслеживать процесс восстановления плодородия нарушенных земель, прогнозиро-

вать и направлять развитие сукцессионных процессов на рекультивируемых территориях в наиболее целесообразном направлении, рассчитать экологический и экономический эффект проводимых рекультивационных работ.

В настоящее время в Кузбассе и других промышленно развитых регионах под отвалы отходов производства заняты огромные площади плодородных земель, многие из которых могут находиться вблизи населенных пунктов. При этом складированные отходы наносят огромный экологический ущерб окружающей природной среде и негативно влияют на условия проживания населения. Нейтрализовать их вредное воздействие можно несколькими путями: утилизацией, рекультивацией или консервацией.

Утилизация – это вторичное использование промышленных отходов в хозяйственной деятельности человека. Рекультивация включает в себя комплекс мероприятий, направленных на формирование на поверхности промышленных отвалов благоприятного корнеобитаемого слоя различными способами, например, путем нанесения потенциально плодородных и плодородных слоев почвы мощностью до 1 м с последующей эксплуатации этой площади под земледелие или другие виды использования [6]. Консервация – это закрепление поверхности отвалов механическим путем (нанесение пленок, асфальтирование, покрытие щебенкой и др.) или путем озеленения поверхности отвалов [7–9] при предварительном нанесении минимального слоя почвы, торфа, минеральных удобрений, ростовых веществ, нетрадиционных почвоулучшителей – осадков сточных вод (ОСВ) и пр. [10–15].

Исследования проводились на хвостохранилище Абагурской обогатительной агломерационной фабрики, которая находится в г. Новокузнецке и является крупным промышленным объектом, деятельность которого в значительной степени осложняет и ухудшает экологические условия окружающей среды и негативно влияет на экологию города и прилегающие ландшафты. Ее обширные хвостохранилища заполнены песчано-суглинистыми субстратами и постоянно подвергаются водной и ветровой эрозии, загрязняя атмосферу, почву и воду.

В то же время складированные отходы являются субстратом, содержащим достаточно много ценных элементов, которые в дальнейшем при отработке технологий будут переработаны. Поэтому такие хвостохранилища можно рассматривать как техногенные месторождения [16]. По этой причине коренные рекультивационные работы на этих техногенных объектах нецелесообразны, необходимо и достаточно закрепить их поверхность биологическими методами путем формирования санитарно-защитных насаждений.

Согласно технологической схеме на Абагурской аглофабрике отходы производства – хвосты магнитной сепарации – в количестве до 2,2 млн. т в год железной

руды по пульпопроводу направляются в хвостохранилища. В настоящее время три хвостохранилища занимают площадь более 350 га. Хвостохранилище № 3 действующее, а № 1 и № 2 представляют собой два обособленных плато высотой до 20 м общей площадью около 190 га. Запас складированных в них хвостов оценивается примерно в 100 млн. т. По своему химическому составу и свойствам хвосты могут быть отнесены к промышленному сырью с широким спектром возможного применения. В настоящее время исследуется технология извлечения полезных элементов из складированных и текущих хвостов методами гравитационного обогащения, плазменной обработки и др. Крупнотоннажная переработка на протяжении 30 лет существования хвостохранилища № 1 не организована.

Для организации рекультивационных работ возможно использовать классификацию нарушенных территорий, которая учитывает специфику техногенных объектов и определяет направление практических мероприятий по восстановлению такого типа нарушений. Согласно классификации промышленных отвалов по В.В. Тарчевскому [17], этот промышленный объект по происхождению относится к отвалам перерабатывающей промышленности наливного типа; по возрасту – средневозрастной (свыше 25-ти лет); по форме – чашевидный; по высоте – средний (до 25 м); по механическому составу поверхностного субстрата состоит из крупной пыли и песка (частицы до 0,1 мм); по кислотности (рН) – кислый; по утилизации – неиспользуемый.

Хвостохранилище заполнено при помощи гидротранспорта, что привело к дифференциации материала по гранулометрическому составу. В почвенно-экологическом отношении материал отработанных хвостохранилищ характеризуется очень высокой неоднородностью практически всех химических, физико-химических, агрофизических и агрохимических параметров. Эта неоднородность определяется спецификой технологии формирования гидроотвалов, которая дифференцирует материал как по площади гидроотвала, так и в его толще. Высокая плотность 1,7 г/см³ и выше делает этот субстрат практически корненепроницаемым, резко снижает объем порового пространства и водопроницаемость. По этой причине при рекультивации хвостохранилищ необходимо введение специального технологического элемента, снижающего эту плотность, например, смешивание с другими менее плотными субстратами.

Вследствие мелкофракционного состава и значительных масштабов занимаемой ими территории (350 га) субстрат хвостохранилищ практически полностью лишен растительности и подвержен ветровой эрозии, что оказывает негативное воздействие на биогеоценоз близлежащих территорий. В районе пос. Елань годовое выпадение пыли составляет 409 г/м², что более чем в 200 раз превышает фоновый показатель для ле-

состепной зоны (2 мг/м²). В радиусе 8 км вокруг Абагурской аглофабрики отмечено загрязнение почв, в том числе железом в 3 – 3,5 раза выше фона [18].

Субстрат хвостохранилищ относится к категории сильно засоленных, фитотоксичных. При этом степень фитотоксичности достигает очень высоких значений. Факторами фитотоксичности выступают хлориды и сульфаты. Долевое участие этих солей примерно одинаково. Хвосты отнесены к 4 классу токсичности.

Основными причинами, препятствующими естественному зарастанию поверхности хвостохранилища, являются:

- фитотоксичность, обусловленная засолением поверхности;
- высокая плотность сложения субстрата;
- низкое содержание элементов питания растений;
- неблагоприятные микроклиматические условия, такие как высокая температура в летний период, незначительное накопление снегового покрова зимой, ветровая эрозия, которая не только выносит материал хвостохранилища, но повреждает молодые побеги и листья растений песчаными частицами.

Фитотоксичность пород в сочетании с их высокой плотностью являются основными причинами длительного существования техногенной пустыни хвостохранилища.

Для формирования почвенно-растительного слоя необходима технология рекультивации, позволяющая улучшить условия на поверхности хвостохранилища и обеспечить долгосрочное функционирование фитоценоза в данных микроклиматических условиях. Успешная рекультивация возможна при создании благоприятного корнеобитаемого слоя путем внесения органо-минеральных смесей в процессе технического этапа и последующей биологической рекультивации, т.е. создания устойчивых культурфитоценозов для предотвращения эрозии и загрязнения окружающих территорий [19, 20]. Создание травяного покрова на поверхности хвостохранилищ коренным образом улучшит ситуацию с обеспечением снегонакопления зимой, что в совокупности с фактором присутствия органического субстрата повысит эффективность восстановления почвенно-растительного слоя на поверхности хвостохранилища.

Известно, что наиболее рациональным способом восстановления органической составляющей отвалов является размещение на их поверхности плодородного слоя почвы (ПСП), снятого при строительстве новых отвалов. Этот способ был применен для рекультивации склонов хвостохранилища № 2. При этом был использован ПСП, снятый с территории хвостохранилища № 3. Но этого материала недостаточно для всех площадей, требующих рекультивации.

Поэтому для создания корнеобитаемого слоя на поверхности хвостохранилища был использован осадок сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений. В результате проведенных работ на поверхности были

сформированы техноземы – искусственные почвы с корнеобитаемым слоем, состоящим из смеси ОСВ и материала хвостохранилища. Ниже представлены результаты исследования свойств и режимов техноземов опытных площадок, заложенных на Абагурском хвостохранилище № 1.

Целью создания техноземов было исследование двух почвенно-экологических эффектов. Во-первых, необходимо было выяснить, как влияет резкая дифференциация профиля технозема на два слоя с различным их гранулометрическим составом на восстановление почвенных функций и, соответственно, на биологическую продуктивность, во-вторых, выяснить влияние на эти же параметры различной мощности нанесения слоя ОСВ.

Варианты техноземов включали три серии (А-1, А-2, А-3), которые различались друг от друга количеством внесенного ОСВ (мощностью 30, 20 и 10 см соответственно).

Ранее было показано [16], что первым, лимитирующим развитие формируемого культурфитоценоза во всех вариантах опытов, фактором является фитотоксичность пород хвостохранилищ и ОСВ по хлоридам и сульфатам. В случае с вариантами техноземов, относящимся к серии А и имеющих дифференцированный по породам профиль, фитотоксичность пород корнеобитаемого слоя обусловлена солями, содержащимися в ОСВ, а в нижележащем – пород хвостохранилищ. Прогнозировалось, что предварительное перепахивание поверхности хвостохранилища и рыхлое сложение свежееотсыпанного ОСВ создадут условия для самомелиорации субстрата в корнеобитаемом слое. Исследования, проведенные в течение двух лет вегетации бобовых трав и, следовательно, развития почвенных режимов и почвенно-экологических функций, подтвердили этот прогноз.

Результаты анализа солевого состава водной вытяжки, полученной из субстрата корнеобитаемого слоя техноземов рассматриваемого опыта, показывают, что степень фитотоксичности резко сократилась (см. табл. 1). Этому способствовало снижение доли плотного остатка и понижение концентрации в растворах хлоридов и сульфатов, в первую очередь магния и натрия. Необходимо обратить внимание на то, что в различных техноземах этого варианта степень снижения концентрации фитотоксичных солей различная. Наибольшей она оказалась в серии А-1, наименьшей – в А-3. Иными словами, чем меньше мощность слоя ОСВ, тем выше скорость выщелачивания солей.

Однако из этого не следует, что 30-см мощность слоя ОСВ оказывается излишней. Во-первых, и при такой мощности фитотоксичность субстрата снизилась существенно – до уровня, не препятствующего удовлетворительному развитию культурфитоценоза. Во-вторых, есть основания полагать, что процесс выщелачивания солей будет продолжаться и далее, и при

Сравнительный анализ водной вытяжки техноземов в корнеобитаемом слое

Table 1. Comparative analysis of water extracts of techno-soils in the root layer

Вариант	Плотный остаток, %	Содержание, мг·экв/100 г						Токсичность	
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Первый год опыта									
A-1	1,731	0,72	1,00	16,12	14,65	1,57	1,62	3,3	0,2
A-2	1,646	0,81	1,20	15,62	14,21	1,86	1,56	4,0	0,2
A-3	1,753	0,76	0,98	16,52	14,75	1,52	1,99	3,2	0,3
Второй год опыта									
A-1	1,006	0,96	0,52	7,59	7,23	1,23	0,61	1,7	0
A-2	1,070	1,00	0,65	8,16	9,50	1,36	1,05	2,2	0
A-3	1,125	1,28	0,70	9,45	10,73	1,45	0,75	2,3	0,1

сохранении этого режима выщелачивания процессы оптимизации солевого режима технозема охватят всю толщу корнеобитаемого слоя. В-третьих, одной из важнейших целей проводимого эксперимента является решение проблемы размещения ОСВ. Поэтому в перспективе в почвенно-экологическом плане значительно важнее не допустить развития процессов вторичного засоления, которое может проявиться вполне реально при условии почвенной засухи, и вторичного уплотнения субстрата в корнеобитаемом слое, при любой мощности ОСВ.

После двух лет саморазвития почвенно-экологических функций в техноземах изменились и параметры, характеризующие физическое состояние субстрата в корнеобитаемом слое, заметно возросла плотность сложения, снизилась порозность (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Сравнительный анализ основных физических свойств техноземов

Table 2. Comparative analysis of the main physical properties of techno-soils

Вариант	Плотность твердой фазы, г/см ³	Плотность сложения, г/см ³	Порозность, %
Первый год опыта			
A-1	2,28	0,68	70,2
A-2	2,20	0,73	66,8
A-3	2,25	0,80	64,4
Второй год опыта			
A-1	2,33	1,03	55,8
A-2	2,58	1,18	54,3
A-3	2,70	1,05	61,1

Несмотря на это, названные физические параметры остаются в границах, близких к оптимальным, а само по себе уплотнение следует считать следствием естественной просадки. В плане дальнейших мониторинговых исследований важно проследить, на каком уровне плотности сложения останутся просадочные процессы и не выйдут ли они за границы зоны оптимума. Прогнозируя, можно предположить, что просадочные явления будут продолжаться до тех пор, пока в корнеобитаемом слое техноземов не начнут развиваться активные гумусоаккумулятивные процессы. На современной стадии развития техноземов мощность отсыпанного слоя ОСВ практически не влияет на интенсивность просадочных явлений.

Химические и агрохимические параметры техноземов по истечении двух лет их развития изменились (табл. 3). Отмечается некоторое подщелачивание среды (значения pH возрастают) и резкое снижение содержания в субстрате корнеобитаемого слоя количества органического вещества и всех форм азота.

Т а б л и ц а 3

Основные химические и агрохимические параметры техноземов Абагурского хвостохранилища после 2-х лет вегетации многолетних трав

Table 3. Main chemical and agrochemical parameters of techno-soils from Abagur tailings dump after 2 years of vegetation of perennial grasses

Вариант	pH	C, %	Содержание подвижных форм, мг/100г субстрата			
			NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	K ₂ O	P ₂ O ₅
A-1	7,61	3,5	3,5	7,1	32,8	40,9
A-2	7,66	4,1	3,2	6,4	33,0	38,5
A-3	7,28	5,8	5,3	3,0	32,7	41,2

Необходимо отметить необычно высокую интенсивность процессов минерализации органических веществ, содержащихся в ОСВ, и потерь различных форм азота. Однако впоследствии при развитии устойчивого фитоценоза на рекультивированных участках установится определенный баланс процессов гумификации и минерализации органических веществ, что также будет способствовать стабилизации содержания азотных веществ в корнеобитаемом слое техноземов.

Выводы. Исследования показали, что без проведения рекультивационных мероприятий создание устойчивого фитоценоза и формирование в субстрате хвостохранилища корнеобитаемого слоя, препятствующего развитию водной и ветровой эрозией, невозможно. Установлена перспективность использования осадков сточных вод в качестве субстрата, существенно улучшающего химико-физические свойства пород. Практически на всех опытных площадках отмечается заметное снижение напряженности режимов функционирования сформированных культурфитоценозов. В результате внесения ОСВ происходит улучшение физического и питательного режимов на поверхности хвостохранилища. Во всех вариантах способов размещения ОСВ достигнут положительный эффект – рост наземной биомассы бобовых растений с увеличением нормы внесения ОСВ. Таким образом, при нанесении ОСВ достигается поставленная цель рекультивации – создание устойчивого фитоценоза на поверхности хвостохранилища и прекращение переноса загрязняющих веществ на прилегающие территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
2. Андроханов В.А., Двуреченский В.Г., Клековкин С.Ю., Водолеев А.С., Кудашкина С.А., Степнов А.А. Технология рекультивации отходов железорудного обогащения с использованием осадков сточных вод // Проблемы региональной экологии. 2006. № 5. С. 33 – 38.
3. Галанина Т.В. Рекультивация в Кузбассе: проблемы и пути решения // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2007. № 1. С. 22 – 24.
4. Курачев В.М., Андроханов В.А., Двуреченский В.Г. Теоретические основы рекультивации нарушенных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы

- Международного совещания, Екатеринбург, 3 – 7 июня 2002 г. – Екатеринбург, 2003. С. 239 – 247.
5. Трофимов С.С. Экология и почвенные ресурсы Кемеровской области. – Новосибирск: Наука, 1975. – 300 с.
6. Bush P.W. Spoiled lands to the south-east of Leeds // Proceedings of the Derelict Land Symposium, 1969. P. 21 – 28.
7. Alter J.H. Chicagos program for using sludge to reclaim land // Com-post sci., 1976. Vol. 17. P. 22 – 24.
8. Aoki M., Ichii H. Sewage sludge use in agriculture and evaluation of composting facilities // Trans. 14 th Int. Congr. Soil Sci., Kyoto, Aug. 1990. Vol. 4. Commis. 4.- Kyoto, 1990. P. 210 – 215.
9. Clapp C.E., Dowdy R.H., Larson W.E., Linden D.R., Normann C.M., Halbach T.R., Polta R.C. Utilization of municipal sewage sludge on agricultural land in Minnesota // Amer. Soc. Agron. Annu. Meet. Cincinnati, 1993. P. 312.
10. Водолеев А.С., Степнов А.А., Кудашкина С.А. Перспективы технологии использования осадков сточных вод для рекультивации // Проблемы экологии и здоровья промышленных городов и пути их решения. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2004. С. 28 – 31.
11. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Нестерович И.А., Фомкина Т.П. Агроэкологическая оценка использования осадка сточных вод // Агрохимия. 1995. № 5. С. 102 – 108.
12. Beaver S.H. The Black Country // In Myers J. Staffordshire, part 61 of The Land of Britain. 1946. P. 146 – 152.
13. Boyle Michael. Biodegradation of land-applied sludge // J. Environ. Qual. 1990. Vol. 19. No. 4. P. 640 – 644.
14. Diaz L.T. Golneke C.G. Co-composting refuse and sludge // Bio Cycle. 1984. Vol. 25. No. 4. P. 21 – 25.
15. Hooda P.S., Alloway B.J. Sorption of Cd and Pb by selected temperate and semi-arid soils: effects of sludge application and ageing of sludged soils // Water, Air, and Soil Pollut. 1994. Vol. 74. No. 3 – 4. P. 235 – 250.
16. Водолеев А.С., Степнов А.А., Кудашкина С.А. Результаты комплексной оценки биологической рекультивации техногенных ландшафтов с использованием осадков сточных вод // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Международного совещания, Екатеринбург, 3 – 7 июня 2002 г. – Екатеринбург, 2003. С. 41 – 51.
17. Тарчевский В.В. Классификация промышленных отходов // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. 1970. Вып. 7. С. 84 – 89.
18. Романенко М.Ф. Экология Кузбасса. Проблемы и перспективы. – Новокузнецк: изд. КемГУ, 1992. – 78 с.
19. Beaver S.H. The Potteries: a study in the evolution of cultural landscape // Transactions and Papers, Institute of British Geographers. 1964. No. 34. P. 1 – 31.
20. Charter R.A., Tabatabai M.A., Hemming S.J. Phytoavailability of metals from sewage sludges and their humate base counterparts added to soils // Amer. Soc. Agron. Annu. Meet. Cincinnati, 1993. P. 269.

Поступила 26 апреля 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. Vol. 60. No. 10, pp. 792–797.

ENVIRONMENTALLY SAFE STORAGE OF WASTES FROM IRON-ORE ENRICHMENT

A.S. Vodoleev¹, V.A. Androkhonov², O.V. Berdova¹,
N.A. Yumasheva¹, E.S. Cherdantseva³

¹Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

²Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Russia, Novosibirsk

³Novokuznetsk Trade and Economic College, Russia, Novokuznetsk

Abstract. Recultivation includes a set of measures aimed at forming of a favorable root layer on the surface of industrial dumps in various ways with subsequent use of this area. Conservation is the fixation of dumps surface by mechanical means or by gardening the surface of the dumps with a preliminary application of a minimum layer of soil, peat, mineral fertilizers, growth substances and unconventional soil improvers – sewage sludge (WWS). As a result of the work carried out on the surface of the iron ore enrichment waste of the Abagur

agglomeration factory, techno-soils were formed – artificial soils with a root layer consisting of a mixture of WWS and tailing material. Recultivated areas have been created on iron ore enrichment waste, which ensure erosion stability of the tailing dump surface and conservation of enrichment wastes. The chemical and agrochemical parameters of techno-soils over the two years of their development have changed. Some alkalization of the medium and a sharp decrease in the amount of organic matter and all forms of nitrogen in substrate of the root layer are observed. Biomonitoring of recultivated experimental sites makes it possible to optimize and to accelerate the process of crop plants formation on industrial waste, to monitor the condition and development of the grass stand, to monitor the restoration of fertility of disturbed lands and to calculate the ecological and economic effect of reclamation works. Based on the results of monitoring of experimental sites in the tailing dumps of the Abagur agglomeration plant, it was established that in 2 to 3 years favorable conditions are created for the formation of a root layer on the substratum of the root layer and a stable crop-forming phytocenosis. As a result of introducing WWS, the physical and nutritional regimes on the surface of the tailing pond are improved. In all variants of WWS placement a positive effect has been achieved – the growth of terrestrial biomass with an increase in the rate of introduction of WWS. The soil-ecological perspective of the use of sewage sludge as an ameliorant that significantly improves the chemical-physical properties of industrial dumps is shown, which makes it possible to create long-term, stable phytocenoses of protective and sanitary-hygienic purposes.

Keywords: recultivation, conservation, waste of iron ore enrichment, biomonitoring, root layer, culture phytocenosis, techno-soils, phytotoxicity.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-10-792-797

REFERENCES

1. Evilevich A.Z., Evilevich M.A. *Utilizatsiya osadkov stochnykh vod* [Utilization of sewage sludge]. Leningrad: Stroiizdat, 1988, 248 p. (In Russ.).
2. Androkhonov V.A., Dvurechenskii V.G., Klekovkin S.Yu., Vodoleev A.S., Kudashkina S.A., Stepnov A.A. Technology of recultivation of wastes of iron-ore enrichment with the use of sewage sludge. *Problemy regional'noi ekologii*. 2006, no. 5, pp. 33–38. (In Russ.).
3. Galanina T.V. Recultivation in Kuzbass: problems and solutions. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*. 2007, no. 1, pp. 22–24. (In Russ.).
4. Kurachev V.M., Androkhonov V.A., Dvurechenskii V.G. Theoretical basis for recultivation of disturbed lands. In: *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel': Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya, Ekaterinburg, 3 – 7 iyunya 2002* [Biological recultivation of disturbed lands: Materials of the International Meeting, Ekaterinburg, June 3-7, 2002]. Ekaterinburg, 2003, pp. 239–247. (In Russ.).
5. Trofimov S.S. *Ekologiya i pochvennye resursy Kemerovskoi oblasti* [Ecology and soil resources of Kemerovo region]. Novosibirsk: Nauka, 1975, 300 p. (In Russ.).
6. Bush P.W. Spoiled lands to the south-east of Leeds. *Proceedings of the Derelict Land Symposium*. 1969, pp. 21–28.
7. Alter J.H. Chicago's program for using sludge to reclaim land. *Com-post sci*. 1976, vol. 17, pp. 22–24.
8. Aoki M., Ichii H. Sewage sludge use in agriculture and evaluation of composting facilities. *Trans. 14 th Int. Congr. Soil Sci., Kyoto, Aug. 1990*, vol. 4. Commis. 4.- Kyoto, 1990, pp. 210–215.
9. Clapp C.E., Dowdy R.H., Larson W.E., Linden D.R., Normann C.M., Halbach T.R., Polta R.C. Utilization of municipal sewage sludge on agricultural land in Minnesota. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet. Cincinnati*, 1993, pp. 312.
10. Vodoleev A.S., Stepnov A.A., Kudashkina S.A. Prospects of the technology of using sewage sludge for recultivation. In: *Problemy ekologii i zdorov'ya promyshlennykh gorodov i puti ikh resheniya* [Problems of ecology and health of industrial cities and ways of their solution]. Novokuznetsk: SibGIU, 2004, pp. 28–31. (In Russ.).
11. Merzlaya G.E., Zyabkina G.A., Nesterovich I.A., Fomkina T.P. Agroecological assessment of the use of sewage sludge. *Agrokhi-miya*. 1995, vol. 5, pp. 102–108. (In Russ.).
12. Beaver S.H. The Black Country. In Myers J. *Staffordshire*, part 61 of *The Land of Britain*. 1946, pp. 146–152.
13. Boyle Michael. Biodegradation of land-applied sludge. *J. Environ. Qual.* 1990, vol. 19, no. 4, pp. 640–644.
14. Diaz L.T. Golneke C. G. Co-composting refuse and sludge. *Bio Cycle*. 1984, vol. 25, no. 4, pp. 21–25.
15. Hooda P.S., Alloway B.J. Sorption of Cd and Pb by selected temperate and semi-arid soils: effects of sludge application and ageing of sludged soils. *Water, Air and Soil Pollut.* 1994, vol. 74, no. 3–4, pp. 235–250.
16. Vodoleev A.S., Stepnov A.A., Kudashkina S.A. Results of a comprehensive assessment of biological recultivation of man-made landscapes using wastewater sludge. In: *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel': Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya, Ekaterinburg, 3 – 7 iyunya 2002 g.* [Biological recultivation of disturbed lands: Materials of the International Meeting, Ekaterinburg, June 3-7, 2002]. Ekaterinburg, 2003, pp. 41–51. (In Russ.).
17. Tarchevskii V.V. Classification of industrial dumps. *Rastitel'nost' i promyshlennye zagryazneniya: Okhrana prirody na Urale*. 1970, vol. 7, pp. 84–89. (In Russ.).
18. Romanenko M.F. *Ekologiya Kuzbassa. Problemy i perspektivy* [Ecology of Kuzbass. Problems and prospects]. Novokuznetsk: KemGU, 1992, 78 p. (In Russ.).
19. Beaver S.H. The Potteries: a study in the evolution of cultural landscape. *Transactions and Papers, Institute of British Geographers*. 1964, no. 34, pp. 1–31.
20. Charter R.A., Tabatabai M.A., Hemming S.J. Phytoavailability of metals from sewage sludges and their humate base counterparts added to soils. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet. Cincinnati*, 1993, 269 p.

Information about the authors:

A.S. Vodoleev, Dr. Sci. (Agr.), Professor of the Chair “Thermal Power and Ecology” (botanik-egf@yandex.ru)

V.A. Androkhonov, Dr. Sci. (Biological), Deputy Director for Research, Head of the Laboratory (androhan@rambler.ru)

O.V. Berdova, Senior Lecturer of the Chair of Open-cast Mining and Electromechanics (olgaberdova1810@mail.ru)

N.A. Yumasheva, Senior Methodist of the Labor Safety Training Center and Industrial Security (vegunata@mail.ru)

E.S. Cherdantseva, Lecturer (cherdantseva86@mail.ru)

Received April 26, 2017