

Оригинальная статья

УДК 502.52(210):502.13

DOI: 10.57070/2304-4497-2024-3(49)-66-76

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ
УДОБРЕНИЙ И РЕКУЛЬТИВАНТА**

© 2024 г. А. С. Водолеев, М. В. Темлянцева, И. С. Семина, К. И. Домнин

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

Аннотация. Представлена информация об осадках сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений как о перспективном нетрадиционном ресурсе для питания растений и их применения в рекультивации техногенно-нарушенных земель. Приведен обзор использования осадков сточных вод в агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур и в качестве почвоулучшителя при проведении рекультивации в России и за рубежом, приведены агротехнические характеристики ОСВ. Осадки сточных вод являются твердыми коммунальными и промышленными отходами, которые накапливаются на иловых площадках очистных сооружений и в отвалах. В них содержатся в значительной массе элементы минерального питания (азот, калий, фосфор, кальций и другие), что делает их ценными удобрениями для выращивания сельскохозяйственных культур. Их использование может значительно сокращать или заменять введение в почву других удобрений. При использовании осадков сточных вод в качестве удобрений необходимо учитывать содержание тяжелых металлов, нормативы которых в разных странах отличаются. Наиболее жесткие требования разработаны в Норвегии, особенно к такому элементу, как кадмий. Описаны результаты полевых исследований по рекультивации отходов железорудного обогащения и железосодержащих шламов металлургического производства. Отмечено отсутствие самозарастания техногенных территорий, вызванное высокой фитотоксичностью отходов металлургического производства. В результате размещения ОСВ улучшены физические и агрохимические характеристики поверхностного слоя рекультивированных участков хвосто- и шламохранилищ, обеспечено появление на них травяного покрова, начиная с первого года размещения этого почвоулучшителя. За счет поглощения выщелачиваемых металлов в органоминеральные комплексы использование ОСВ позволяет снизить токсичность материала в железосодержащих отходах. Обоснована экологическая и экономическая целесообразность использования органических отходов городских очистных сооружений в сельскохозяйственной и рекультивационной практиках.

Ключевые слова: осадки сточных вод, техногенно-нарушенные земли, хвостохранилище, шламохранилище, рекультивация, тяжелые металлы, фитотоксичность железосодержащих отходов, почвоулучшители

Для цитирования: Водолеев А.С., Темлянцева М.В., Семина И.С., Домнин К.И. Возможности использования осадков сточных вод в качестве удобрений и рекультиванта. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2024;3(49):66–76. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3\(49\)-66-76](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3(49)-66-76)

Original article

**POSSIBILITIES OF USING SEWAGE SLUDGE AS FERTILIZERS AND
RECLAMATION AGENTS**

© 2024 A. S. Vodoleev, M. V. Temlyantsev, I. S. Semina, K. I. Domnin

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region –Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. The article presents information on sewage sludge (WWS) of municipal treatment facilities as a promising non-traditional resource for plant nutrition and their use in the reclamation of technogenically disturbed lands.

An overview of the use of sewage sludge in agricultural technology for cultivating agricultural crops and as a soil improver during reclamation in Russia and abroad is given, and agrotechnical characteristics of sewage sludge are given. Sewage sludge is solid municipal and industrial waste that accumulates on sludge beds of treatment facilities and in dumps. They contain significant amounts of mineral nutrition elements such as nitrogen, potassium, phosphorus, calcium, etc., which makes them valuable fertilizers for growing crops. Their use can significantly reduce or replace the introduction of other fertilizers into the soil. When using sewage sludge as fertilizer, it is necessary to take into account the content of heavy metals, the standards of which differ in different countries. The most stringent requirements for their content have been developed in Norway, especially for such an element as cadmium. The results of the author's field research on the reclamation of iron ore processing waste and iron-containing sludge from metallurgical production are described. The absence of self-overgrowth of technogenic areas, caused by the high phytotoxicity of metallurgical waste, was noted. As a result of the placement of WWS, the physical and agrochemical characteristics of the surface layer of the reclaimed areas of the tailings and sludge storage ponds were improved, and the appearance of grass cover on them was ensured, starting from the first year of placement of this soil improver. Due to the absorption of leachable metals into organomineral complexes, the use of WWS makes it possible to reduce the toxicity of the material on iron-containing waste. The environmental and economic feasibility of using organic waste from urban wastewater treatment plants in agricultural and reclamation practices is substantiated.

Keywords: sewage sludge, technogenically disturbed lands, tailings storage facility, sludge storage facility, reclamation, heavy metals, phytotoxicity of iron-containing waste, soil improvers

For citation: Vodoleev A.S., Temlyantsev M.V., Semina I.S., Domnin K.I. Possibilities of using sewage sludge as fertilizers and reclamation agent. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;3(49):66–76. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3\(49\)-66-76](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3(49)-66-76)

Введение

В настоящее время в результате хозяйственной деятельности человека в биосферу поступает огромное количество различных загрязнителей, в том числе и тяжелых металлов (ТМ). Почва – одна из ключевых составляющих биосферы, которая часто служит буфером, предотвращая или ограничивая загрязнение других элементов биосферы. Проникновение тяжелых металлов в биосферу приводит к их накоплению в почве в концентрациях, значительно превышающих фоновые значения, что снижает плодородность почвы и негативно влияет на животный и растительный мир и в итоге на человека. Загрязнение почв наносит также и экономический ущерб, так как сельскохозяйственная продукция, полученная с техногенных территорий, часто содержит ТМ и запрещена к реализации. В результате ухудшения качества земель из-за потери гумуса сельскохозяйственная деятельность на таких территориях становится невозможной или нецелесообразной [1; 2]. Чтобы компенсировать эти потери, необходимо добавлять вещества в почву в виде органических удобрений. В сельском хозяйстве чаще всего используют продукты жизнедеятельности животных, торф, компосты и другие. Кроме того, можно использовать озерный ил (сапропель) и твердые коммунальные и промышленные отходы (осадки сточных вод (ОСВ)).

Торф – это разлагающиеся растительные остатки, которые скапливаются в болотах. Он представлен волокнистой или пластичной массой

черного или бурого цвета. Низинный торф обычно используется в качестве удобрения, но его применение в чистом виде неэффективно.

Озерный ил (сапропель) – это современные иловые отложения пресноводных водоемов, которые разлагаются под слоем воды. Его химический состав зависит от места отбора и может содержать от 10 до 85 % органического вещества, а также азот (до 6 %), фосфор (0,25 – 5,16 %), кальций (0,98 – 41,00 %) и другие вещества. Внесение сапропеля в почву ведет к увеличению содержания гумуса, азота, фосфора, калия и кальция, улучшает агрегатный состав, водно-физические и химические свойства, а также активизирует деятельность почвенных микроорганизмов. Все это приводит к увеличению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Особенно рекомендуется применять сапропели на бедных песчаных почвах, поскольку они содержат большое количество илистых частиц. В результате, сапропели могут значительно улучшить качество почвы.

Осадки сточных вод – это твердые коммунальные и промышленные отходы, которые накапливаются на иловых площадках очистных сооружений и в отвалах. В России ежегодно образуется около 2,6 млн т ОСВ, содержащих в среднем 25 % сухого вещества, 0,50 % общего азота, 0,40 % P_2O_5 , 0,02 % K_2O , 15,00 % органического вещества. По своему воздействию на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур схожи с другими органическими

удобрениями. Однако, ОСВ могут содержать значительное количество тяжелых металлов, поступающих из стоков промышленных предприятий. Рекомендуется вносить ОСВ в дозе 4 – 6 т/га в год или 15 т/га раз в три года.

Бытовые сточные воды содержат значительные количества таких веществ как азот, калий, фосфор, кальций и другие, которые являются ценными удобрениями для сельскохозяйственных культур. Поэтому использование сточных вод и образующихся при их очистке осадков может сокращать или заменять введение в почву других удобрений. За рубежом в зависимости от региональных геоэкологических особенностей стран в агропроизводстве используют от 10 до 90 % накапливающихся ОСВ, в среднем в Западной Европе от 30 до 40 % [3].

ОСВ в сельском хозяйстве

В Великобритании свыше 40 % образующихся осадков сточных вод применяется в сельском хозяйстве [4]. При этом одной из главных проблем, связанных с их размещением в почве, является наличие загрязняющих веществ, среди которых можно выделить тяжелые металлы (ТМ) и патогенные микроорганизмы.

Принятие решения о почвенном размещении ОСВ базируется на результатах тщательного изучения их состава и свойств [5 – 7]. Когда речь идет об утилизации осадков сточных вод в сельском хозяйстве, необходимо учитывать не только содержание твердых частиц, но и уровень общего и аммонийного азота, фосфора, калия, кальция и органических загрязнителей [8 – 13]. Американские специалисты считают, что только те ОСВ, у которых содержание твердых частиц менее 30 % и не превышает ПДК по содержанию пестицидов, ароматических углеводородов и тяжелых металлов, могут быть использованы в качестве удобрения [14 – 16].

В штате Калифорния (США) были разработаны нормы внесения ОСВ при выращивании сельскохозяйственных культур, учитывая фитотоксичность ТМ [17]. Многолетние полевые опыты в Японии на песчано-суглинистых и песчаных почвах показали улучшение физико-химических свойств почв и незначительное накопление меди и ТМ [18].

В Норвегии установлены жесткие требования к использованию ОСВ в сельском хозяйстве, в том числе ограничения на содержание Cd, Pb, Hg и Zn [19]. Аналогичные нормы установлены и для озеленения (рекультивации). В таблице представлены данные о предельно допустимом содержании металлов в ОСВ, используемые в качестве удобрения в сельском хозяйстве в различных странах [20]. Там же приведены средние

результаты исследования химического состава ОСВ г. Новокузнецка.

Осадки сточных вод г. Новокузнецк в соответствии с требованиями к содержанию тяжелых металлов пригодны не только для озеленения, но и для сельского хозяйства. На первое место выходит фоновое содержание металлов на территории планируемого размещения ОСВ.

Установлены значительные отличия в поглощении ТМ разными видами растений, где наиболее высокий уровень характерен для овощных растений, тогда как зерновые и технические культуры способны накапливать твердые металлы в значительно меньшей степени [21; 22]. Культуры можно расположить по степени накопления кадмия в следующем порядке (начиная с наибольшего): свекла > латук > морковь > редис > томаты > картофель > пшеница > овес > бобы > кукуруза. Подбирая культуры для возделывания на почвах, удобряемых осадками сточных вод, можно в 60 раз изменить количество кадмия, попадающего в пищевой рацион. Допустимый уровень поступления кадмия в организм (100 мкг/сут) достигается при внесении не более 1,7 кг/га кадмия в почву с кислым рН и не более 5 кг/га в почву с нейтральной реакцией [23]. При выращивании только зерновых культур допустимое внесение кадмия можно увеличить до 17 кг/га без риска для здоровья человека. Микроорганизмы могут служить контролем безопасного содержания тяжелых металлов в почвах. Снизить доступность тяжелых металлов, содержащихся в осадках сточных вод, для растений можно с помощью контролируемого компостирования с различными наполнителями, что позволяет связывать тяжелые металлы в устойчивые хелатные комплексы [24; 25].

Использование ОСВ в рекультивации

Исследования по использованию осадков сточных вод для восстановления промышленных отходов проводили впервые в Польше (Верхняя Силезия). Этот исследовательский проект под названием «Силезия» осуществляли совместно Агентством по охране окружающей среды США, правительством Польши и Управлением по охране окружающей среды Катовицкого воеводства [26]. Исследования, проведенные в Западной Пенсильвании, Иллинойсе, Вирджинии (США) и в Верхней Силезии, подтвердили высокую эффективность применения ОСВ для рекультивации промышленных отвалов [26]. Проект «Силезия» является демонстрационным и предназначен для определения мероприятий по снижению экологических рисков и повышению экологических возможности в районах до-

Нормы предельно допустимого содержания тяжелых металлов в осадке сточных вод (мг/кг сухого вещества), используемом в качестве удобрения в разных странах, и фактическое содержание металлов в ОСВ г. Новокузнецк по результатам собственных исследований
The norms of the maximum permissible content of heavy metals in sewage sludge (mg/kg of dry matter) used as fertilizer in different countries, and the actual metal content in the soil of Novokuznetsk according to the results of our own research

Элемента	Нормы предельно допустимого содержания элемента в разных странах								Директивы ЕЭС	Требования РФ (СанПиН 2.1.7.573 – 96)	ОСВ г. Новокузнецк
	Австрия	Бельгия	Дания	Канада	Нидерланды	Франция	ФРГ	Швеция			
Мышьяк	100	10	–	75	10	–	–	–	–	20	19
Кадмий	10	10	8	20	10	15	30	15	20	30	2
Кобальт	100	20	6 – 120	150	–	20	–	50	–	–	13
Хром	500	500	40 – 120	–	500	200	1200	1000	750	1200	136
Медь	500	500	300 – 900	–	600	1500	1200	3000	1000	1500	191
Ртуть	10	10	6	5	10	8	25	8	16	15	7
Марганец	–	500	–	–	–	500	–	–	–	2000	1669
Молибден	–	–	–	20	–	–	–	–	–	–	–
Никель	200	100	20 – 40	180	100	–	200	500	300	400	53
Свинец	500	300	485	500	500	300	1200	300	750	1000	69
Селен	–	25	–	14	–	–	–	–	–	–	–
Цинк	2000	2000	2000 – 4000	1850	2000	3000	3000	1·10 ⁴	2500	4000	837

бычи угля, производства стали, охватывающих регион Верхняя Силезия, Катовицкое производство и регион Острава (Чешская Республика). Полученные результаты позволили использовать восстановленные территории в сельском хозяйстве. Применение ОСВ способствует существенному сокращению расходов на формирование плодородной почвы и повышению результативности биологической рекультивации отвалов. Экспериментальный проект связан с фитомелиорацией отходов горнодобывающей индустрии с использованием осадков.

В г. Чикаго (США) ОСВ используют для рекультивации земель (площадь 6,2 тыс. га), нарушенных угольными разработками. На этих сельскохозяйственных угодьях выращивают кукурузу, пшеницу и многолетние травы, которые используют в кормовых целях в животноводстве. В штате Вирджиния разработали программу использования ОСВ для восстановления земель с последующим выращиванием многолетних трав на восстановленных территориях [27].

В Швеции успешно провели рекультивацию железорудных отвалов с помощью смеси ОСВ и древесной коры [28].

В Германии запатентовали метод почвенного размещения ОСВ для рекультивации свалок ТКО. На основе ОСВ создают искусственные породы с добавлением твердых промышленных отходов (зола, шлак и горелая формовочная земля). Благодаря пористости шлаков и высокой водоудерживающей способности ОСВ, такие органоминеральные субстраты способны противостоять эрозионным процессам даже при выпадении до 150 – 250 мм атмосферных осадков. В этой стране ОСВ используют при выращивании сельскохозяйственных культур, причем удалось достичь более высоких урожаев сахарной свеклы, озимой пшеницы и других зерновых культур, а также снизить затраты на их выращивание [29].

В Австрии ОСВ используются в составе минерально-органической смеси для герметизации оснований и боковых откосов полигонов и гидротехнических сооружений. Известно, что при размещении ОСВ на золошлаковых отвалах дополнительным эффектом может стать уменьшение выщелачивания тяжелых металлов за счет уменьшения их подвижности [30].

Осадки сточных вод городских очистных сооружений в течение нескольких последних десятилетий реабилитация техногенных территорий становится основным направлением в ряде европейских стран:

– в Польше (Верхняя Силезия) при восстановлении промышленных территорий, занятых отходами, а также в сельском хозяйстве;

– в Австрии в жизненном цикле полигонов ОСВ используются на этапе герметизации их оснований и боковых откосов, а также для выращивания сельскохозяйственных культур на гидротехнических сооружениях;

– в Швеции при проведении рекультивации отвалов железорудных отходов;

– в США (Западная Пенсильвания, Центральные и Южные Аппалачи; штаты Иллинойс, Вирджиния) для увеличения плодородия почв рекультивированных участков горных выработок;

– во Франции в горной местности при восстановлении нарушенного при эрозии почвенного покрова для прокладки горнолыжных трасс;

– в Германии для рекультивации свалок.

Использование осадков сточных вод для рекультивации позволяет очистить иловые площадки от складированных ОСВ, снизить затраты природных ресурсов.

За рубежом накоплен опыт использования осадков в работах по вовлечению в хозяйственный оборот выработанных торфяников для восстановления растительного покрова после окончательной грунтовой засыпки свалок, а также для борьбы с эрозией [31].

В больших городах России остро стоит вопрос утилизации и эффективного применения отходов городских очистных сооружений (ОСВ). Благодаря содержанию N, P, Ca, Mg и ряда необходимых для нормального развития микроэлементов (B, Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn), осадки сточных вод могут быть классифицированы как органо-минеральное азотно-фосфорное удобрение. В процессе хранения происходит образование гуминовых веществ, которые способствуют накоплению хлорофилла в листьях растений и активному росту корней. Эксперты в области рекультивации отмечают преимущества использования ОСВ перед традиционными методами (большое количество органического вещества, химическая буферность, снижающая токсичность отвалов, и высокое содержание макро- и микроэлементов, необходимых для роста растений).

Образование отвалов техногенных отходов создает экологическую угрозу землепользованию, сравнимую с добычей полезных ископаемых. Под воздействием внешних факторов (выветривания и вымывания) частицы отходов с высоким содержанием токсичных веществ, включая тяжелые металлы, загрязняют плодородный слой почвы, реки и приземные слои атмосферы, что напрямую влияет на здоровье жителей близлежащих районов.

При задернении поверхности отвалов природными материалами (плодородный слой поч-

вы, торф, перегной, древесная кора, углистые сланцы, смешанные культуры микроводорослей) [32] используют нетрадиционные почвоулучшители, в том числе промышленные отходы, одним из которых является ОСВ (отходы от очистки городских канализационных стоков и нетоксичных промышленных сточных вод) [33].

Для снижения воздействия отвалов на окружающую среду достаточно провести их озеленение. По причине высокой фитотоксичности поверхностных слоев самозарастание большинства промышленных отвалов невозможно. Для создания устойчивого растительного слоя на шламохранилище в промзоне Западно-Сибирского металлургического комбината предложено внесение органического субстрата – отходов от очистки городских сточных вод, характеризующихся высоким содержанием органической составляющей, но не находящим пока применения в сельском хозяйстве.

На протяжении более чем 20 лет на техногенных территориях проводятся комплексные экологические исследования по утилизации накопленных и вновь поступающих на иловые карты гидроочистных сооружений ОСВ. На хвостохранилище Абагурской обогатительной фабрики и шламохранилище АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») в г. Новокузнецк заложены полевые опыты по использованию ОСВ в качестве почвоулучшителя для проведения рекультивационных мероприятий. В полевых и лабораторных исследованиях участвовали Кузбасская государственная педагогическая академия (г. Новокузнецк), Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск), Западно-Сибирский испытательный центр (г. Новокузнецк), компании АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и ЗАО «Водоканал» (г. Новокузнецк). В ходе эксперимента, проводимого в жестких условиях (фитотоксичность хвостов, ветровая эрозия, засуха), применение ОСВ способствовало формированию растительного слоя многолетних трав на рекультивируемых участках при отсутствии растительности на техногенном контроле хвостохранилища.

Субстрат Абагурского хвостохранилища характеризуется высокой степенью засоленности и фитотоксичности. Солевой состав водной вытяжки субстрата Абагурского хвостохранилища следующий: 2,74 % плотный осадок; токсичность по Cl^- и SO_4^{2-} составляет 3,4 и 3,1; содержание подвижной формы, мг экв./100 г – 0,68 HCO_3^- ; 1,04 Cl^- ; 33,43 SO_4^{2-} ; 10,10 Ca^{2+} ; 17,52 Mg^{2+} ; 6,50 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Фитотоксичность достигает крайне высоких показателей (6 баллов и выше). Факторами фитотоксичности является хлориды

и сульфаты, их присутствие угнетающе действует на растительность, особенно в фазе ее приживания. Главной причиной длительного существования техногенной пустыни Абагурского хвостохранилища является фитотоксичность отходов железорудного обогащения в сочетании с их высокой плотностью.

После размещения ОСВ на минеральном субстрате хвостохранилища основной задачей стало создание устойчивого фитоценоза (фитомелиорация) на нем.

Коллектив экспертов провел серию исследований на территории опытных площадок, расположенных на хвостохранилище Абагурской аглофабрики и на шламохранилище АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Результаты исследований свидетельствуют о том, что ОСВ помогают уменьшить негативное воздействие техногенных ландшафтов на растительность, повысив водообеспеченность и добавив питательные компоненты в поверхностный слой почвы.

Появление растительности на опытных участках приводит к положительному изменению почвенно-экологических и микроклиматических показателей техноземов. Токсичность техногенного субстрата уменьшается, разница суточных температур в период вегетации снижается, прилегающие участки зарастают. Одним из источников накопления гумусовых веществ является целлюлозоразрушающая микрофлора, способствующая формированию и стабилизации микробоценоза в рекультивируемом слое хвостохранилища.

Почвенно-экологическая оценка и мониторинг рекультивированных территорий показали, что в результате размещения ОСВ улучшены физические и агрохимические характеристики поверхностного слоя хвосто- и шламохранилищ, обеспечено появление на них травяного покрова, начиная с первого года размещения этого почвоулучшителя.

Использование ОСВ обеспечивает формирование дернины, одним из основных назначений которой является противоэрозионная и санитарно-гигиеническая (снижающая воздействие на окружающую среду) функции.

В результате размещения осадков сточных вод на промышленных отвалах обеспечивается практическое решение двух экологически важных вопросов на техногенно-нарушенных территориях промышленных предприятий:

- создание плодородного органо-минерального субстрата (техноземов);
- нейтрализация загрязняющих веществ, поступающих со складированных отходов металлургического производства.

При использовании осадков сточных вод исходных и обработанных известью в полевых

условиях (хвостохранилище Абагурской обогатительной фабрики) было установлено, что исходные ОСВ характеризуются высокой агрономической ценностью и могут использоваться в качестве питательного материала для рекультивации. Сформированный на основе ОСВ и отходов железорудного обогащения хвостов органоминеральный субстрат содержит питательные элементы в количестве, достаточном для обеспечения жизнедеятельности произрастающих на них растений. Использование ОСВ позволяет снизить токсичность материала хвосто- и шламоохранилищ за счет поглощения выщелачиваемых металлов в органоминеральные комплексы.

Использование ОСВ (органических субстратов) как удобрения и рекультиванта имеет следующие преимущества:

- улучшение структуры почвы и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, а также повышение их качественных характеристик при использовании осадков городских сточных вод;

- обеспечение санитарной безопасности сельскохозяйственной продукции и улучшение экологической обстановки в целом, что положительно сказывается на здоровье населения и окружающей среды.

Непосредственное применение ОСВ в качестве удобрения и при рекультивации техногенно-нарушенных территорий является экономически выгодным и рациональным способом утилизации рассматриваемых отходов, позволяет значительно снизить финансовые затраты на проведении рекультивационных работ (если они используются научно обоснованным образом при определенных природных и производственных условиях). Использование ОСВ в качестве органических удобрений признано и применяется во всем мире.

Восстановление техногенно нарушенные территории – важная государственная задача, решение которой значительно улучшит экологическую ситуацию, вернет земли в оборот и создаст необходимые условия для развития различных отраслей народного хозяйства.

Рекультивация включает широкий спектр мелиоративных, лесо- и сельскохозяйственных работ по превращению нарушенных земель в плодородные, экологически сбалансированные, близкие по основным характеристикам к естественным.

При рекультивации все компоненты восстанавливаемого ландшафта воссоздаются заново: формируется рельеф, восстанавливается режим грунтовых вод, создается структура почвенного и растительного горизонта. Вновь созданная среда формирует животный мир на восстановленных территориях.

С развитием рыночных отношений организация использования нарушенных земель изменилась:

теперь приоритетными стали экономические факторы (плата за землю и используемые природные ресурсы, налоговые поступления). Это привело к переориентации системы управления городским хозяйством с административных методов на экономические.

Одним из важнейших вопросов, решаемых при разработке проекта рекультивации нарушенных земель, является подбор технологии формирования плодородного почвенного слоя с применением следующих ресурсов рекультивации:

- потенциально-плодородные породы;
- плодородный слой почвы (гумусово-аккумулятивный горизонт);
- нетрадиционные почвоулучшители, существенно изменяющие важнейшие свойства технозема [34].

Выводы

Часто нетрадиционные почвоулучшители представляют собой органические отходы, поэтому их использование в качестве удобрений выглядит наиболее перспективным. В Кемеровской обл. к числу хороших почвоулучшителей следует отнести торф, сапропели, цеолиты и осадки сточных вод.

Отдельные из них (торф, сапропель) активизируют биологические процессы в почве, в то время как другие (ОСВ и цеолиты) улучшают физические и химические свойства рекультивированного субстрата.

В связи с ограниченным количеством этих ресурсов и неравномерным локальным распространением, широкое их использование для рекультивации нарушенных земель практически невозможно.

Снижение негативного воздействия на окружающую среду может быть достигнуто двумя способами:

1. Разработка безопасных методов применения нетрадиционных удобрений (дозировка, способ внесения в почву, выбор культур и другие).
2. Улучшение качества органических отходов путем их переработки (компостирование, сбраживание).

Основные условия использования нетрадиционных почвоулучшителей включают предварительную экспертизу санитарно-гигиенического состояния, дезинфекцию, механическую и химическую подготовку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев Ю.В. *Тяжелые металлы в почвах и растениях*. Ленинград: Агропромиздат, 1987:142.

2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. Москва: Мир, 1989:439.
3. Ларешин В.Г. и др. *Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения*. Москва: РУДН, 2008:172.
4. Davis R.D. Agricultural utilization of sewage sludge: A review. *J. Inst. Water and Environ. Manag.* 1989;3(4):351–355.
5. Чеботарев Н.Г., Колесниченко А.В. Опыт использования осадков сточных вод на удобрения в условиях Московской области. В кн.: *Влияние химизации земледелия на содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства*. Москва, 1988:110–115.
6. Никушина Т.К., Шурина Р.Н. Использование осадков сточных вод г. Рязани как удобрения. В кн.: *Влияние химизации земледелия на содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства*. Москва: Госагропромиздат, 1988:127–135.
7. Бурлаков А.А., Должененко И.Б., Скуратовская Л.М., Сальникова К.С. Использование осадка сточных вод для удобрения мелиорированных земель. В кн.: *Проблемы комплексной мелиорации земель Поволжья*. 1989:67–68.
8. Касатиков В.А., Касатикова С.М. Агрономическая эффективность и особенности применения систем удобрения на основе осадков городских сточных вод, торфа и навоза. В кн.: *Система применения удобрений для получения планируемого урожая сельскохозяйственных культур*. Горький: Госагропромиздат, 1988:29–36.
9. Касатиков В.А. Использование осадков сточных вод и компостов из твердых бытовых отходов. *Химиз. с. х.* 1989;11:29.
10. Сергиенко Л.И., Тянь В.П. Эколого-экономическая оценка использования осадка сточных вод в правобережье Саратовской области. В кн.: *Экологические проблемы сельского и водного хозяйства Поволжья. Тез. докл. науч.-практ. конф.* Саратов, 1992:17–18.
11. Лебедев Д.Л. Осадок сточных вод города Великие Луки как органическое удобрение на песчаных почвах; автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук. Великие Луки: изд. Великолук. Гос.с.-х. акад., 2003; 20 с.
12. 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.* 1993;Cincinnati:312.
13. Благовещенская З.К., Грачева Н.К., Могиндович Л.С., Тришина Т.А. Утилизация осадка городских сточных вод. *Химиз. с.-х.* 1989;10:73–76.
14. Vance G.F. Heavy metal concentrations in soils and plants of an abandoned coal mine five years after sludge amendment. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1991;Madison:422.
15. Lue-Hing C., Zenz D.R., Pietz R.J., Granato T.C. Encouraging the beneficial use of sewage sludge application to land. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1993;Cincinnati:321–322.
16. Webber M.D., Wang C., Topp G.C. Organic contaminants in Canadian agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 1993;73(4):656.
17. Chang A.C., Granato T., Page A.M. Land application of municipal sludge – Assessing the phytotoxicity of metals. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1991;Madison:38.
18. Aoki M., Ichii H. Sewage sludge use in agriculture and evaluation of composting facilities. *Trans. 14th Int. Congr. Soil Sci., Kyoto, Aug. 1990*;4:210–215.
19. Paulsrud B., Nedland K.J. Strategy for land application of sewage sludge in Norway. *Water Science and Technology.* 1997;36(11):283–290.
20. Захарова М.А., Водолеев А.С., Домнин К.И. Содержание тяжелых металлов и химический состав техноземов и растений хвостохранилища ОАО Абагурской агломерационно-обогащительной фабрики, г. Новокузнецк. В кн.: *Металлургия: технологии, инновации, качество. Metallurgy – 2021. Труды XXII Международной научно-практической конференции*, 10-11 ноября 2021 г. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2021;2:163–166.
21. Касатиков В.А. Агроэкологические свойства и проблема утилизации осадков сточных вод г. Москвы. В кн.: *Технол. обраб. осадков природ. и сточных вод: Матер. семин.* Москва: Знание РСФСР. Моск. дом науч.-техн. прогр., 1990:73–79.
22. Hue N.T., Ranjith Subasinghe A. Sewage sludges in Hawaii: chemical composition and reactions with soils and plants. *Water, Air, and Soil Pollut.* 1994;72(1):265–283.
23. 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;74(3-4):235–250.
24. Hattori Hiroyuki. Influence of cadmium on decomposition of sewage sludge and microbial activities in soils. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 1989;35(2):289–299.

25. Балаганская Е.Д., Мозгова Н.П. Поиск мелиорантов для восстановления загрязненных почв. В кн.: *Тез. молод. конф. ботаников стран СНГ «Актуал. пробл. ботан.»*. Апатиты: РАН. Кол. науч. центр. Поляр. 1993:98–99.
26. Daniels W.L., Stuczynski T., Pantuck K., Pistelok F., Szymborski A. Restoration of mining wastes with sewage sludge in upper Silesia. *Poland*, 1995:115–124.
27. Skousen J., Clinger C. Sewage sludge land application program in west Virginia. *J. Soil and Water Conserv.* 1993;48(2):145–151.
28. Borgegard Sven-Olov, Rydin Hakan. Utilization of Waste products and in organic fertilizer in the restoration of iron-mine tailigs. *J. Appl. Ecol.* 1989;26(3):1083–1088.
29. Dippel Martin. Rechtliche Fragen bei der Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen. *Zuckerindustrie.* 1994;119(5):395–401.
30. Krishoamohan R., Herbich John B., Hossner Lloyd R., Williams Fred S. Environmental aspect of vegetation reclamation of bauxite residue disposal areas Light Metals. In: *Pros. Techn. Sess. TMS Light Metals Comm. 121 st TMS Annu. Meet.* San Diego, Calif., March 1–5, 1992. Warnendale. Calif. 1991:5–9.
31. Wilson S. A., Rahe T.M., Webber W.B. Municipal wastewater sludge as a soil amendment for revegetating final landfill cover. *J. soil water conserve.* 1985;40(3):296–299.
32. Крунчак В.Г., Пономарева Л.В., Назаренко А.В., Иванова Т.И., Трушкина А.Н., Малинин А.И. Биологическая рекультивация почв. В кн.: *Конф. «Интродукция микроорганизмов в окружающую среду»*. Москва, 17–19 мая, 1994. Москва: изд. РАН, 1994:55–56.
33. Латыпова В.З., Коспокевич И.И., Григорьян Б.Р., Ермолаева А.И. Комплексная оценка экологического состояния иловых карт городских очистных сооружений и рекомендации к их применению. В кн.: *Загрязнение окружающей среды: Проблема токсикологии и эпидемиологии*. Москва – Пермь, 11-19 мая 1993. – Пермь, 1993:74–75.
34. Берлякова О.Г., Ермак Н.Б., Линдина Л.И. Использование осадков сточных вод в рекультивации нарушенных земель. *Вестник Кемеровского государственного университета.* 2010;1:33–37.
2. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Trace elements in soils and plants*. Moscow: Mir, 1989:439.
3. Lareshin V.G. et al. *Preservation and improvement of fertility of agricultural lands*. Moscow: RUDN, 2008:172. (In Russ.).
4. Davis R.D. Agricultural utilization of sewage sludge: Areview. *J. Inst. Water and Environ. Manag.* 1989;3(4):351–355.
5. Chebotarev N.G., Kolesnichenko A.V. The experience of using sewage sludge for fertilizers in the conditions of the Moscow region. In: *The influence of the chemicalization of agriculture on the content of heavy metals in the soils of agricultural lands and crop production*. Moscow, 1988:110–115. (In Russ.).
6. Nikushina T.K., Shurina R.N. The use of sewage sludge in Ryazan as fertilizers. In: *The influence of the chemicalization of agriculture on the content of heavy metals in the soils of agricultural land and crop production*. Moscow: Gosagropromizdat, 1988:127–135. (In Russ.).
7. Burlakov A.A., Dolzhenenko I.B., Skuratovskaya L.M., Sal'nikova K.S. The use of sewage sludge for fertilizing reclaimed lands. In: *Problems of complex land reclamation of the Volga region*. 1989:67–68. (In Russ.).
8. Kasatikov V.A., Kasatikova S.M. Agronomic efficiency and application features of fertilizer systems based on precipitation of urban wastewater, peat and manure. In: *The system of applying fertilizers to obtain the planned crop yield*. Gorky: Gosagropromizdat, 1988:29–36. (In Russ.).
9. Kasatikov V.A. The use of sewage sludge and compost from solid household waste. *Khimiz. s. kh.* 1989;11:29. (In Russ.).
10. Sergienko L.I., Tyan V.P. Ecological and economic assessment of the use of sewage sludge in the right bank of the Saratov region. In: *Ecological problems of agriculture and water management of the Volga region. Tez. dokl. scientific and practical conference*. Saratov, 1992:17–18. (In Russ.).
11. Lebedev D.L. Sewage sludge of the city of Velikiye Luki as an organic fertilizer on sandy soils; avtoreferat dis. ... kandidata sel'skokhozyaistvennykh nauk. Velikiye Luki: ed. Velikiye Luki State Academy of Sciences, 2003;20. (In Russ.).
12. 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.* 1993;Cincinnati:312.
13. Blagoveshchenskaya Z.K., Gracheva N.K., Mogindovich L.S., Trishina T.A. Utilization of

REFERENCES

1. Alekseev Yu.V. *Heavy metals in soils and plants*. Leningrad: Agropromizdat, 1987:142. (In Russ.).

- urban wastewater sludge. *Khimiz. s.-kh.* 1989;10:73–76. (In Russ.).
14. Vance G.F. Heavy metal concentrations in soils and plants of an abandoned coal mine five years after sludge amendment. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1991;Madison:422.
 15. Lue-Hing C., Zenz D.R., Pietz R.J., Granato T.C. Encouraging the beneficial use of sewage sludge application to land. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1993;Cincinnati:321–322.
 16. Webber M.D., Wang C., Topp G.C. Organic contaminants in Canadian agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 1993;73(4):656.
 17. Chang A.C., Granato T., Page A.M. Land application of municipal sludge – Assessing the phytotoxicity of metals. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* 1991;Madison:38.
 18. Aoki M., Ichii H. Sewage sludge use in agriculture and evaluation of composting facilities. *Trans. 14 th Int. Congr. Soil Sci., Kyoto, Aug.* 1990;4:210–215.
 19. Paulsrud B., Nedland K.J. Strategy for land application of sewage sludge in Norway. *Water Science and Technology.* 1997;36(11):283–290.
 20. Zakharova M.A., Vodoleev A.S., Domnin K. I. The content of heavy metals and the chemical composition of technozems and plants of the tailings storage facility of JSC Abagur agglomeration and processing plant, Novokuznetsk. In: *Metallurgy: technologies, innovations, quality. Metallurgy – 2021. Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference*, November 10-11, 2021. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2021;2:163–166. (In Russ.).
 21. Kasatnikov V.A. Agroekologicheskie svoystva i problema utiliza-tsii osadkov stochnykh vod g. Moskvy. In: *Tekhnol. obrab. osadkov prirod. i stochnykh vod: Mater. semin.* Moscow: Znanie RSFSR. Mosk. dom nauch.-tekhn. progr., 1990:73–79.
 22. Hue N.T., Ranjith Subasinghe A. Segawe sludges in Hawaii: chemical composition and reactions with soils and plants. *Water, Air, and Soil Pollut.* 1994;72(1):265–283.
 23. 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;74(3-4):235–250.
 24. Hattori Hiroyuki. Influence of cadmium on decomposition of sewage sludge and microbial activities in soils. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 1989;35(2):289–299.
 25. Balaganskaya E.D., Mozgova N.P. Search for ameliorants for restoration of polluted soils. In: *Tez. young. conf. botanists of the CIS countries “Actual. prob. Botan”.* Apatity: RAN. Kol. nauch. tsentr. Polyar. 1993:98–99. (In Russ.).
 26. Daniels W.L., Stuczynski T., Pantuck K., Pistelok F., Szymborski A. Restoration of mining wastes with sewage sludge in upper Silesia. *Poland*, 1995:115–124.
 27. Skousen J., Clinger C. Sewage sludge land application program in west Virginia. *J. Soil and Water Conserv.* 1993;48(2):145–151.
 28. Borgegard Sven-Olov, Rydin Hakan. Utilization of Waste products and in organic fertilizer in the restoration of iron-mine tailigs. *J. Appl. Ecol.* 1989;26(3):1083–1088.
 29. Dippel Martin. Rechtliche Fragen bei der Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen. *Zuckerindustrie.* 1994;119(5):395–401.
 30. Krishoamohan R., Herbich John B., Hossner Lloyd R., Williams Fred S. Environmental aspect of vegetation reclamation of bauxite residue disposal areas Light Metals. In: *Pros. Techn. Sess. TMS Light Metals Comm. 121 st TMS Annu. Meet.* San Diego, Calif., March 1-5, 1992. Warnendale. Calif. 1991:5–9.
 31. Wilson S. A., Rahe T.M., Webber W.B. Municipal wastewater sludge as a soil amendment for revegetating final landfill cover. *J. soil water conserve.* 1985;40(3):296–299.
 32. Krunchak V.G., Ponomareva L.V., Nazarenko A.V., Ivanova T.I., Trushkina A.N., Malinin A.I. Biological soil reclamation. In: *Conf. “Introduction of microorganisms into the environment, Moscow, 17-19 maya, 1994.* Moscow: izd. RAN, 1994:55–56. (In Russ.).
 33. Latypova V.Z., Kostyukevich I.I., Grigor’yan B.R., Ermolaeva A.I. Comprehensive assessment of the ecological state of sludge maps of urban wastewater treatment plants and recommendations for their use. In: *Environmental pollution. Environment: Problems of toxicology and epidemiology.* Moscow – Perm, 11-19 May 1993. – Perm; 1993:74–75. (In Russ.).
 34. Berlyakova O. G., Ermak N. B., Lindina L. I. The use of sewage sludge in the reclamation of disturbed lands. *Vestn. Kemer. gos. un-ta.* 2010;1:33–37. (In Russ.).

Сведения об авторах

Анатолий Сергеевич Водолеев, д.с.-х.н., профессор кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: botanic-egf@yandex.ru
ORCID: 0009-0003-0081-2797
SPIN-код: 7243-3213

Михаил Викторович Темлянецв, д.т.н., профессор, проректор по реализации стратегического проекта,

Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

ORCID: 0000-0001-7985-5666

SPIN-код: 6169-5458

Ирина Сергеевна Семина, к.б.н., доцент, руководитель центра «Геоэкология», Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: semina.i@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9222-0358

SPIN-код: 6543-4729

Константин Игоревич Домнин, ведущий инженер кафедры теплоэнергетики и экологии, соискатель, Сибирский государственный индустриальный университет.

E-mail: domnin_k_i@mail.ru

ORCID: 0009-0003-2257-091X

SPIN-код: 8658-4960

Information about the authors:

Anatolii S. Vodoleev, Dr. Sci. (Agr.), Prof. of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

E-mail: botanik-egf@yandex.ru

ORCID: 0009-0003-0081-2797

SPIN-код: 7243-3213

Mikhail V. Temlyantsev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Vice-Rector for Strategic Project Implementation, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-7985-5666

E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

SPIN-код: 6169-5458

Irina S. Semina, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Geoecology Center, Siberian State Industrial University

Email: semina.i@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9222-0358

SPIN-код: 6543-4729

Konstantin I. Domnin, Senior Engineer of the Department of Thermal Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University

E-mail: domnin_k_i@mail.ru

ORCID: 0009-0003-2257-091X

SPIN-код: 8658-4960

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Поступила в редакцию 26.08.2024

После доработки 02.09.2024

Принята к публикации 05.09.2024

Received 26.08.2024

Revised 02.09.2024

Accepted 05.09.2024