

**ВЛИЯНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ
АГРОЛАНДШАФТА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ПОЛИГОНА****EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON ECOLOGICAL SUSTAINABILITY
OF AGRICULTURAL LANDSCAPE OF RECLAIMED SOLID WASTE LANDFILL**

Ключевые слова: рекультивация, полигон, осадок сточных вод, органоминеральные удобрения, агроландшафт.

Показана возможность использования осадка сточных вод (ОСВ) как альтернативы почвогрунту при рекультивации полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) для создания агроландшафта. ОСВ является эффективным и экономичным решением для биологической рекультивации полигонов ТКО, способствуя восстановлению земель и улучшению экосистем. ОСВ содержит ценные биогенные элементы, что делает его пригодным для формирования агроландшафтов. Исследования по экологической устойчивости агроландшафта рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов (ТКО) в г. Барнауле проводились на верхней части полигона площадью 33,7 га. Этот полигон включает верхнюю карту, которая не использовалась с 2004 г., и нижнюю карту, где в настоящее время продолжается заполнение бытовыми отходами. Для биологической рекультивации полигона использовался осадок сточных вод. Полевое исследование было разделено на 3 варианта, касающихся формирования пахотного слоя (0,4 м) агроландшафта: использование плодородного грунта, смеси плодородного грунта с осадком сточных вод в соотношении 1:1 и применение только осадка сточных вод. Исследования, проведенные на полигоне, показали, что применение ОСВ безопасно, содержание тяжёлых металлов в почвах и сельскохозяйственных культурах не превышает предельно допустимых концентраций. Также отмечена высокая урожайность культур, таких как тритикале, фестулолиум и коострец безостый при использовании ОСВ, что демонстрирует его потенциал как удобрения. Максимальная урожайность коостреца безостого, фестулолиума, тритикале отмечена на варианте с ОСВ при содержании азота 0,23%, фосфора – 2,38%, калия – 0,98%. Использо-

вание ОСВ является экологически безопасным и экономически выгодным способом восстановления нарушенных земель.

Keywords: reclamation, waste landfill, sewage sludge, organomineral fertilizers, agro-landscape.

The study shows the possibility of using sewage sludge as an alternative to topsoil in reclamation of solid waste landfills to create an agro-landscape. Sewage sludge is an effective and economical solution for biological remediation of solid waste landfills contributing to land rehabilitation and ecosystem improvement. Sewage sludge contains valuable nutrients which make it suitable for agro-landscape formation. The studies on the environmental sustainability of the agro-landscape of a reclaimed solid municipal waste landfill in the City of Barnaul were conducted on the upper part of the landfill (33.7 ha). This landfill includes an upper area which was not used since 2004, and a lower area where filling with household waste is currently ongoing. Sewage sludge was used for biological remediation of the landfill. The field study was divided into three variants concerning the formation of 0.4 m arable layer of the agro-landscape: the use of fertile soil, a 1:1 mixture of fertile soil with sewage sludge and the use of sewage sludge alone. The studies conducted at the landfill have shown that the use of sewage sludge is safe; the content of heavy metals in soils and crops does not exceed the maximum permissible concentrations. High yields of crops as triticale, festulolium and awnless bromegrass were also observed when using sewage sludge which demonstrated its potential as a fertilizer. The maximum yield of awnless bromegrass, festulolium and triticale were observed in the variant with sewage sludge with nitrogen content of 0.23%, phosphorus - 2.38%, and potassium - 0.98%. The use of sewage sludge is an environmentally safe and economically beneficial way to restore disturbed lands.

Чепрунова Юлия Владимировна, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный педагогический университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: zubkova.ula@mail.ru.

Cheprunova Yuliya Vladimirovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Pedagogic University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: zubkova.ula@mail.ru.

Тингаев Анатолий Владимирович, д.т.н., доцент, зав. кафедрой экономики, анализа и информационных технологий, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: avtin@mail.ru.

Воробьева Раиса Петровна, д.с.-х.н., учредитель, ООО «Алтайагрохимсоюз Плюс», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vorobevarp@gmail.com.

Шепталов Вячеслав Борисович, к.с.-х.н., ген. директор, ООО «Алтайагрохимсоюз Плюс», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alt.22@mail.ru.

Tingaev Anatoliy Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: avtin@mail.ru.

Vorobeva Raisa Petrovna, Dr. Agr. Sci., founder, ООО "Altayagrokhimsoyuz Plyus", Barnaul, Russian Federation, e-mail: vorobevarp@gmail.com.

Sheptalov Vyacheslav Borisovich, Cand. Agr. Sci., General Director, ООО "Altayagrokhimsoyuz Plyus", Barnaul, Russian Federation, e-mail: alt.22@mail.ru.

Введение

В России каждый год образуется большое количество отходов производства и потребления. В 2022 г. в России насчитывалось 9017,3 млн т отходов производства и потребления (на 6,7% больше, чем в 2021 г.). С развитием экономики регионов растёт количество органических отходов, что ведет к увеличению количества заполненных полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО), делая необходимым проведение их биологической рекультивации. Для формирования пахотного слоя агроландшафта используют в больших объемах плодородный грунт.

Актуальной проблемой природопользования будет являться поиск альтернативы плодородному грунту.

В условиях глобальных изменений климата и растущей антропогенной нагрузки на природные ресурсы эффективно использовать для рекультивации осадок сточных вод (ОСВ), содержащий макро- и микроэлементы, а также органическое вещество [1-3]. Целесообразность использования осадка сточных вод края обуславливается их высокой удобрительной ценностью, а риск возникает в возможном высоком содержании поллютантов [4-8].

Цель исследования – выявление воздействия внесения ОСВ при формировании агроландшафта на его экологическую устойчивость.

Объект и методы исследования

Исследования на экологическую устойчивость агроландшафта рекультивированного полигона проводились на верхней карте полигона ТКО г. Барнаула площадью 33,7 га. Полигон имеет верхнюю заполненную карту, которая не эксплуатируется с 2004 г., и нижнюю карту, которая используется в настоящее время и заполняется бытовыми отходами. Для биологической рекультивации полигона ТКО применялся осадок сточных вод [5-7].

Полевой опыт был поделен на три варианта по использованию в формировании пахотного слоя (0,4 м) агроландшафта: плодородного грунта, смеси плодородного грунта и ОСВ (1:1), а также ОСВ.

В исследовании применялись общепринятые методы полевого исследования (Б.А. Доспехов) и экологии.

Экспериментальная часть

При применении осадка сточных вод для рекультивации территорий полигонов ТКО и последующего использования их в качестве сельскохозяйственных угодий требуется проведение тщательного исследования на содержание в нем тяжёлых металлов.

Максимальное содержание поллютантов в ОСВ не превышает предельно допустимые значения (ГОСТ Р 54534-2011): Cd – до 20,1 мг/кг, Ni – до 92,6, Zn – до 1186,1, Cu – до 373,2, Hg – до 0,32, Mn – до 656, Co – до 103,0, Pb – до 91,2, As – до 11,3, Cr_{общ} – до 105,3, Mo – до 5,0 мг/кг.

В районе, где находится полигон твёрдых коммунальных отходов (ТКО) в Барнауле, климат преимущественно континентальный со среднегодовой температурой 4,8°С. Зимы здесь долгие и холодные, а лето короткое и тёплое.

В 2019 г. количество осадков было в пределах нормы и составило 375 мм. В последующие годы этот показатель был следующим: в 2020 г. – 441 мм, 2021 г. – 417, 2022 г. – 373,8, а в 2023 г. – 544 мм.

Результаты и обсуждение

В процессе создания нового агроландшафта при рекультивации полигона твёрдых бытовых отходов были использованы различные сельскохозяйственные культуры: фестулолиум, коострец безостый и тритикале.

Из кустарников и деревьев были посажены барбарис, клён канадский, рябина сибирская.

При выборе этих растений учитывались их способность выдерживать низкие температуры и устойчивость к засухе.

Содержание поллютантов в пахотном слое агроландшафта полигона ТКО представлено в таблице 1.

Таблица 1
Содержание поллютантов в пахотном слое агроландшафта полигона ТКО, мг/кг

Вариант	Год	As	Zn	Pb	Cu	Cd	Hg
Плодородный грунт	2020	0,69	45,14	13,6	16,09	0,36	0,016
	2021	0,77	39,6	12	14,1	0,26	0,017
	2022	0,71	44	11,5	19	0,13	0,016
	Максимальное значение	0,71	45,14	13,6	19	0,36	0,017
Плодородный грунт + ОСВ	2020	0,98	65,42	86	96,37	0,43	0,019
	2021	0,64	35,65	61,5	81,63	0,26	0,018
	2022	0,83	49	46,2	78,5	0,27	0,019
	Максимальное значение	0,98	65,42	86	96,37	0,43	0,019
ОСВ	2020	1,24	66,39	91,2	126,1	0,46	0,022
	2021	0,88	43,41	84,3	129,36	0,3	0,021
	2022	0,96	54	81	138	0,46	0,022
	Максимальное значение	1,24	66,39	91,2	129,36	0,46	0,022
ПДК		20	3500	500	750	30	15

Самое высокое содержание поллютантов отмечено в варианте с использованием рекультивации полигона ОСВ. Максимальное содержание в агроландшафте мышьяка – 1,24 мг/кг, цинка – 66,39, свинца – 91,2, меди – 129,36, кадмия – 0,46, ртути – 0,022 мг/кг. По всем вариантам исследования содержание поллютантов в агроландшафте не превышает предельно допустимых концентраций.

Максимальная средняя урожайность сельскохозяйственных культур была в вариантах с внесением ОСВ (табл. 2).

Максимальная средняя урожайность зеленой массы многолетних трав была в варианте с использованием при рекультивации ОСВ. На контрольном участке без внесения ОСВ она оказалась самой низкой среди всех вариантов.

Таблица 2
Урожайность сельскохозяйственных культур на агроландшафте рекультивированного полигона ТКО, т/га

Вариант	Годы	Фестулолиум	Кострец безостый	Тритикале (зерно)
Плодородный грунт	2020	6,1	8,5	3,81
	2021	3,1	6,7	3
	2022	5,5	6,8	2,2
	Среднее значение	4,9	7,3	3
Плодородный грунт + ОСВ	2020	9,2	10,1	7,58
	2021	5,1	8,4	8,52
	2022	7	7,1	4,4
	Среднее значение	7	8,5	6,8
ОСВ	2020	9,9	13	6,72
	2021	10,6	11,3	4,32
	2022	10,7	10,3	3,7
	Среднее значение	10,4	11,5	4,9

Содержание поллютантов в многолетних травах и тритикале, выращенных на агроландшафте рекультивированного полигона, представлено в таблице 3.

Содержание поллютантов в многолетних травах и тритикале, выращенных на агроландшафте рекультивированного полигона, не превышает ПДК.

Таблица 3

Содержание поллютантов в многолетних травах и тритикале, выращенных на агроландшафте

Культура	Вариант	Поллютанты, мг/кг					
		As	Zn	Pb	Cu	Cd	Hg
Фестулолиум	Плодородный грунт	0,04	22	1,85	6,45	0,18	0,0091
	Плодородный грунт + ОСВ	0,04	23,3	1,78	7,16	0,27	0,0101
	ОСВ	0,04	25,2	1,7	8,6	0,17	0,0096
Кострец безостый	Плодородный грунт	0,04	23,23	1,48	7,5	0,11	0,0074
	Плодородный грунт + ОСВ	0,04	22,63	1,23	8	0,14	0,0082
	ОСВ	0,04	24,55	1,58	10,5	0,18	0,0008
Тритикале	Плодородный грунт	0,03	26,15	1	2,32	0,12	0,0086
	Плодородный грунт + ОСВ	0,02	24,25	0,91	2,44	0,11	0,0069
	ОСВ	0,03	26,6	0,71	2,52	0,14	0,0074
Допустимые уровни		0,5	50	5	30	0,3	0,05

Вывод

Использование осадка сточных вод г. Барнаула не оказывает отрицательного влияния на экологическую устойчивость агроландшафта рекультивированного полигона. Содержание поллютантов в пахотном слое агроландшафта и сельскохозяйственных культурах при использовании ОСВ не превышает ПДК. Урожайность сельскохозяйственных культур в вариантах с ОСВ превышает урожайность на плодородном грунте.

Библиографический список

1. Мерзлая, Г. Е. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения / Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев. – Текст: непосредственный // Агрохимия. – 2020. – № 8. – С. 70-77.
2. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / Л. В. Кирейчева, Н. П. Карпенко, О. Б. Хохлова [и др.]. – Москва, 2010. – 240 с. – Текст: непосредственный
3. Кирейчева, Л. В. Использование биологических отходов для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий / Л. В. Кирейчева, А. В. Тиньгаев. – Текст: непосредственный // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 6. – С. 22-24.
4. Манжина, С. А. Мировые тенденции в нормировании осадков сточных вод при ис-

пользовании для повышения плодородия почв / С. А. Манжина, М. Ю. Дробин – Текст: непосредственный // Экология и водное хозяйство. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 54-69.

5. Касатиков, В. А. Влияние органических удобрений на основе осадков городских сточных вод на показатели почвенного плодородия, урожай и миграцию макро- и микроэлементов в экосистеме почва-растение / В. А. Касатиков, Н.П. Шабардина. – Текст: непосредственный // Биоконверсия побочных продуктов животноводства и отходов АПК: коллективная монография. – Владимир, 2023. – С. 261-276.

6. Тиньгаев, А. В. Использование органических отходов для повышения урожайности редьки масличной на малопродуктивных и деградированных почвах Приобского плато / А. В. Тиньгаев, А. С. Давыдов, Ю. В. Чепрунова – Текст: непосредственный // Перспективы внедрения инновационных технологий в АПК: сборник статей / III Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция с международным участием, приуроченная к 80-летию агрономического факультета Алтайского государственного аграрного университета, Барнаул, 22 ноября 2023 г. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2023. – С. 129-133.

7. Тиньгаев, А. В. Формирование агроландшафта на отработанном полигоне твердых коммунальных отходов с использованием осадка сточных вод / А. В. Тиньгаев, Ю. В. Чепрунова. – Текст: непосредственный // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной без-

опасности, Москва, 14-15 апреля 2022 года. – Москва: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. – С. 133-138.

8. Тиньгаев, А. В. Исследования влияния органических отходов на урожайность редьки масличной на малопродуктивных и деградированных землях с использованием информационно-логического анализа / А. В. Тиньгаев, А. С. Давыдов, Ю. В. Чепрунова. – DOI 10.12731/2658-6649-2024-16-2-907. – Текст: непосредственный // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 126-141.

References

1. Merzlaia G.E., Afanasev R.A. Agrokhimicheskie aspekty ispolzovaniia osadkov stochnykh vod dlia rekultivatsii zemel razlichnogo naznacheniiia // Agrokhimiia. – 2020. – No. 8. – S. 70-77.

2. Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Khokhlova O.B. i dr. Novye tekhnologii proektirovaniia, osnovaniia stroitelstva, ekspluatatsii i upravleniia meliorativnymi sistemami. – Moskva, 2010. – S. 240.

3. Kireicheva L.V., Tingaev A.V. Ispolzovanie biologicheskikh otkhodov dlia povysheniia plodorodiia selskokhoziaistvennykh ugodii // Vestnik Rossiiskoi akademii selskokhoziaistvennykh nauk. – 2008. – No. 6. – S. 22-24.

4. Manzhina S.A., Drobin M.Iu. Mirovye tendentsii v normirovanii osadkov stochnykh vod pri ispolzovanii dlia povysheniia plodorodiia pochv // Ekologija i vodnoe khoziaistvo. – 2023. – Т. 5. – No. 2.

5. Kasatkov V.A., Shabardina N.P. Vliianie organicheskikh udobrenii na osnove osadkov gorodskikh stochnykh vod na pokazateli poch-

vennogo plodorodiia, urozhai i migratsiiu makro- i mikroelementov v ekosisteme pochva-rastenie // Biokonversiiia pobochnykh produktov zhivotnovodstva i otkhodov APK. Kollektivnaia monografiia. – Vladimir, 2023. – S. 261-276.

6. Tingaev, A.V. Ispolzovanie organicheskikh otkhodov dlia povysheniia urozhainosti redki maslichnoi na maloproduktivnykh i degradirovannykh pochvakh Priobskogo plato / A.V. Tingaev, A.S. Davydov, Iu.V. Cheprunova // Perspektivy vnedreniia innovatsionnykh tekhnologii v APK: sbornik statei / III Vserossiiskaia (natsionalnaia) nauchno-prakticheskaia konferentsiia s mezhdunarodnym uchastiem, priurochennaia k 80-letiiu agronomicheskogo fakulteta Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Barnaul, 22 noiabria 2023 g. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2023. – S. 129-133.

7. Tingaev, A.V. Formirovanie agrolandshafta na otrabotannom poligone tverdykh kommunalnykh otkhodov s ispolzovaniem osadka stochnykh vod / A.V. Tingaev, Iu.V. Cheprunova // Rol melioratsii v obespechenii prodovolstvennoi bezopasnosti, Moskva, 14–15 apreliia 2022 goda. – Moskva: FNTs VNIIGiM im. A.N. Kostiakova, 2022. – S. 133-138.

8. Tingaev, A.V. Issledovaniia vliianiia organicheskikh otkhodov na urozhainost redki maslichnoi na maloproduktivnykh i degradirovannykh zemliakh s ispolzovaniem informatsionno-logicheskogo analiza / A.V. Tingaev, A.S. Davydov, Iu.V. Cheprunova // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2024. – Т. 16, No. 2. – S. 126-141. – DOI 10.12731/2658-6649-2024-16-2-907.

