

ФИТОСАНАЦИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД*

Д.А. ПОСТНИКОВ, к. б. н.; Л.В. РОМОДИНА, к. с.-х. н.; С.Л. ИГНАТЬЕВА, к. с.-х. н.

(Кафедра экологии, кафедра агрономической и биологической химии)

Изучены вопросы фиторемедиации почв после внесения в качестве органоминерального удобрения осадка сточных вод (ОСВ). В ходе проведения эксперимента в условиях 2-летнего полевого опыта установлено, что растения белой горчицы интенсивно накапливают токсиканты в корневой части. Суммарный вынос тяжелых металлов из загрязненной почвы при помощи растений увеличивается, если технология фитосанации предусматривает за полевой сезон не менее двух ротаций и полное удаление фитомелиоранта.

Все виды отходов имеют высокий энергетический потенциал и могут рассматриваться в качестве постоянно возобновляемых ресурсов для получения различных видов продукции [2].

Идея рециклинга осадка сточных вод на почвах с.-х. назначения известна давно, но фактически само решение проблемы утилизации сброженного ила с целью разгрузки иловых карт и площадок складирования осадка на очистных сооружениях было связано с необходимостью разработки санитарно-гигиенических нормативов, регламентирующих применение осадков на почвах с низким содержанием доступных для растений основных питательных элементов [10].

Осадки сточных вод стали накапливаться в экологически опасных объемах с середины XVIII в. в связи с промышленным прогрессом, увеличением доли городского населения и развитием коммунального хозяйства [9,10].

Традиционная агротехнология применения ОСВ с целью увеличения биопродуктивности возделываемых культур становится причиной увеличения содержания тяжелых металлов и других токсикантов в гумусо-аккумуля-

тивном и нижележащих почвенных горизонтах. Именно высокое содержание тяжелых металлов вносимого осадка является лимитирующим фактором для увеличения плодородных свойств почвы и получения экологически безопасной продукции [1].

С целью снижения содержания различных загрязняющих элементов в корнеобитаемом слое почвы вследствие прямого или опосредованного антропогенного загрязнения учеными многих стран разрабатывается такое перспективное для агроэкологии направление, как фитосанация.

Фитосанация, или фиторемедиация — это возделывание специальных растений, которые поглощают из почвенного раствора ионы тяжелых металлов и аккумулируют их в надземной и подземной частях в зависимости от поглощаемого металла и физиологических свойств самого растения. При использовании этого приема образующуюся растительную массу скашивают и в последующем утилизируют (сжигают), а полученную золу используют как вторичное сырье [3].

Биологическое поглощение металлов растениями происходит посред-

* Авторы выражают благодарность директору МУП «Истринский водоканал» Ю.Н. Петрушину за финансовую поддержку исследования.

ством электростатической адсорбции на поверхности корня, затем металлы проникают в ткани растений и вступают в различные биохимические реакции [7].

Если металлы аккумулируются в с.-х. культурах, они отчуждаются с урожаями, а почвы таким образом освобождаются от части неподвижных форм элементов [12].

Использование растений в технологии очистки загрязненных территорий без вывоза грунта, несомненно, имеет важное практическое значение при рециклинге ОСВ [6].

В сельском хозяйстве Франции, Нидерландов, США, Польши, Швейцарии и Германии, по данным ВОЗ, применяют, соответственно, 24, 35, 40, 50, 74 и 40% всего количества накапливающихся ОСВ. В сельскохозяйственных районах Германии этот показатель достигает 80% [12].

В скандинавских странах гигиенические нормативы и требования к илам настолько ужесточены, что практически невозможно использовать осадки сточных вод на полях в течение длительного периода без экологически обоснованных новых элементов технологии утилизации [8].

В России в качестве удобрения используется лишь 5-7% всех осадков [5]. Проводимые исследования в области фитосанации выявили, что наиболее перспективными при проведении санации и детоксикации загрязненной дерново-подзолистой супесчаной почвы являются амарант и редька масличная [11].

Дальнейшее развитие методов фиторемедиации можно ожидать после того, как методами генной инженерии будут созданы растения, способные более эффективно, чем известные виды, концентрировать тяжелые металлы (ТМ) [4].

Анализ проблемы фитосанации почв и рециклинга отходов по научным источникам позволил выявить, что в современных публикациях по данной

теме практически отсутствуют результаты по изучению такой интересной с точки зрения практической экологии культуры, как горчица белая (*Sinapis alba*, L.).

В соответствии с вышеизложенным целью наших исследований было определение эффективности фитосанации почвы растениями горчицы белой в условиях многолетнего полевого опыта на территории очистных сооружений г. Истры при различных дозах внесения ОСВ.

В задачи исследований входило определение: агрохимических показателей почвы до и после внесения ОСВ; содержания тяжелых металлов (ТМ) (первый год внесения ОСВ) в почве в вариантах опыта; влияния возрастающих доз ОСВ на биометрические и фенологические показатели развития растений; влияния различных доз ОСВ на продуктивность растений; содержание тяжелых металлов (ТМ) в стеблевой и корневой частях горчицы белой в фазу цветения в вариантах опыта в каждую ротацию; суммарного выноса тяжелых металлов растениями за каждый год полевых исследований.

Истринский район (площадь 130 тыс. га) расположен на северо-западе Московской обл. и по агроклиматическому районированию занимает промежуточное положение: его западная часть входит в первую, а восточная — во вторую агроклиматическую зону. Это наиболее холодная и переувлажненная территория области. Количество осадков колеблется в пределах 610—680 мм. Непрерывная продолжительность периода без осадков может достигнуть 30-32 дней, период с t выше 10°C длится в среднем 130 дней (с 10 мая по 15 сентября). В почвенном покрове района господствуют дерново-подзолистые почвы суглинистого механического состава средней и сильной степени оподзоленности. В условиях затрудненного поверхностного стока формируются дерново-подзолистые глеевые и глееватые почвы.

В геоботаническом отношении район входит в подзону смешанных лесов. Площадь лесного массива — 68 тыс. га, что составляет примерно половину всей площади района. Лес большей частью состоит из мелколиственных пород, ели и сосны. Нелесной тип растительности представлен лугами и болотами.

В пойме верхней части р. Истры создано Истринское водохранилище. Широкое развитие гидрографической сети способствует значительной обводненности кормовых угодий.

Материал и методика исследований

В опыте использовали стабилизированный осадок сточных вод очистных сооружений г. Истры, который характеризуется нейтральной реакцией, высоким содержанием общего азота, фосфора и органического вещества, зольность составляет 32% и влажность — 30% (табл. 1). По допустимому содержанию тяжелых металлов ОСВ относится к 1-й группе (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001). Исходя из ПДК содержание всех ТМ в осадке ниже допустимого уровня.

Т а б л и ц а 1
Химический состав ОСВ

Показатель	Результат испытания	Норматив
pH	7,1	5,5–8,5
Азот общий, %	0,64	Не менее 0,60
P ₂ O ₅ общий, %	5,27	Не менее 1,5
K ₂ O общий, %	0,92	Не менее 0,15
Органическое вещество, %	40,3	Не менее 20
<i>Содержание подвижных форм ТМ (аммонийно-ацетатный буфер), мг/кг</i>		
Свинец, мг/кг	13,60	—
Кадмий, мг/кг	0,94	—
Медь, мг/кг	42,21	—
Цинк, мг/кг	70,45	—
<i>Содержание ТМ (5 М HNO₃), мг/кг</i>		
Свинец, мг/кг	35,6	250
Кадмий, мг/кг	12,8	15
Медь, мг/кг	543,7	750
Цинк, мг/кг	710,5	1750

Очистные сооружения расположены за чертой города Истры вблизи деревни Качаброво. Третья очередь очистных сооружений была введена в эксплуатацию в 1991 г. Проектная мощность очистных сооружений биологической очистки составляет 37 тыс. м³/сут. Фактическое поступление сточных вод — 13-14 тыс. м³/сут. Водоприемник очищенных сточных вод — р. Истра — является рыбохозяйственным водоемом первой категории, источником, питающим Рублевское водохранилище, снабжающим питьевой водой г. Москву.

В настоящее время очистные сооружения принимают хозяйственно-бытовые стоки с застроенных территорий города, прилегающих поселков, производственные сточные воды предприятий.

При изучении фитосанации в почву по вариантам высевали семена горчицы белой, глубина посева 3-4 см. Норма высева из расчета 20 кг семян на 1 га.

В 2005 г. на опытной площадке очистных сооружений г. Истры был заложен мелкоделяночный полевой опыт по следующей схеме из 4 вариантов:

1 — контроль; 2 — ОСВ 40 т/га; 3 — ОСВ 80 т/га; 4 — ОСВ 120 т/га.

Опыт проводили в 4-кратной повторности. Расположение делянок систематическое. Площадь делянки — 15 м². Между каждым вариантом и внутри повторностей располагалась защитная полоса шириной 0,5 м. В течение каждого полевого сезона было проведено 2 ротации горчицы белой. ОСВ вносили вручную, доза осадка рассчитана по сухой массе.

В течение периода вегетации определяли линейные размеры растений. Каждая ротация заканчивалась отбором растительных образцов (зеленая масса и корни), учетом густоты стояния и продуктивности растений горчицы белой, а также отбором образцов почвы в вариантах опыта с соблюдением методических требований. Учет

урожая проводили сплошным методом, с использованием технологии полного удаления растений с участка. Содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) определяли колориметрически по методу Тюрина. рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85) — потенциометрически. Подвижные формы фосфора (ГОСТ 26207-91) и калия (ГОСТ 26207-91) определяли в вытяжке Кирсанова, гидrolитическую кислотность (ГОСТ 26212-91) — по методу Каппена, сумму поглощенных оснований (ГОСТ 26487-85) — по Каппену-Гильковицу.

Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы опытного участка: pH_{KCl} 6,87, содержание органического вещества 2,36%, Нг — 1,8; S — 10,2, ЕКО — 12,0 мгэкв/100 г почвы, V — 85,0%, P_{2O_5} — 105, K_2O — 82 мг/кг по Кирсанову.

Определение содержания кислоторастворимых форм ТМ проводили в вытяжке 5M азотной кислоты, подвижных форм ТМ — в вытяжке 1M ацетатно-аммонийного буфера с рН 4,8 с последующим использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии (табл. 1, 2).

Почва характеризуется превышением ОДК по валовому содержанию кадмия и меди. Высокое содержание ТМ в почве опытного участка, вероятно, объясняется постоянным осаждением на территории очистных сооружений образующихся микробрызг и аэрозоль при подаче компрессорами сжатой струи воздуха в аэротенк.

Степень загрязнения тяжелыми металлами оценивали по величине суммарного показателя загрязнения

Т а б л и ц а 2

Содержание тяжелых металлов в почве опытного участка

Химический элемент	Валовое содержание (5M HNO_3), мг/кг	ОДК, мг/кг
Свинец	12,2	130,0
Кадмий	2,3	2,0
Медь	178,6	132,0
Цинк	161,5	220,0

(Zс), равного отношению концентрации элемента в загрязненной почве к его фоновой концентрации. Zс исходной почвы равен 14,7, что соответствует II категории почв по степени загрязнения.

Пробы почвы отбирали при помощи бура. Составляли смешанную пробу из 20 уколов, произведенных через равные промежутки по диагонали участка, затем тщательно перемешивали, квартовали 3-4 раза и получали среднюю пробу массой около 1 кг.

При подготовке растительных проб корни и надземную часть растений отбирали из каждого варианта (1 м²) по повторностям, объединенную пробу растительного материала измельчали на отрезки длиной 1-3 см.

Высушивание проб проводили в сушильном шкафу при температуре 60-65°C до воздушно-сухого состояния. Содержание тяжелых металлов в растительных пробах определяли в их зольных растворах на атомно-абсорбционном спектрофотометре с лампами полого катода типа С 115-1M. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85.

Статистическая обработка данных проведена при использовании программы дисперсионного анализа STRAZ.

Результаты и их обсуждение

С целью изучения влияния разных доз осадка сточных вод на общую продуктивность растений за каждую ротацию определяли массу надземной и корневой части опытных растений (табл. 3).

Внесение осадка сточных вод в дозах 40, 80 и 120 т/га положительно влияло на продуктивность надземной и корневой частей растений. Следует отметить, что доза осадка в 120 т/га является токсичной, так как продуктивность горчицы белой в 4-м варианте не превышает данный показатель в 3-м варианте и составляет в среднем 132% за 2 года. Наибольшее уве-

личение продуктивности было в варианте с дозой ОСВ 40 и 80 т/га.

При анализе продуктивности белой горчицы по двухлетним результатам исследований, как в 1-й, так и во 2-й ротации наблюдается одинаковая тенденция в формировании урожая надземной массы опытных растений.

Существенное снижение продуктивности по двум завершающим ротациям 2005-2006 гг. непосредственно связано с низкой обеспеченностью почвы опытного участка доступной влагой, дефицит которой был спровоцирован небольшим количеством осадков в августе 2005 г. — 30,9 мм, и в июле 2006 г. — 23,3 мм. Следует отметить, что для 2-й ротации количество

осадков в июле являются основным лимитирующим показателем для интенсивного набора биомассы.

Анализ фенологических результатов наблюдений не выявил существенных различий в наступлении фенофаз развития у растений во всех вариантах.

Для оценки аккумулирующей способности белой горчицы в опытных растениях определяли содержание ТМ (табл. 4).

Анализируя данные о содержании ТМ в растениях горчицы белой, следует отметить, что свинец, медь в большем количестве накапливались в корнях, а кадмий и цинк — в надземной части растений во всех вариантах

Т а б л и ц а 3

Продуктивность растений горчицы белой (сухая масса г/м²)
(опытная площадка очистных сооружений г. Истры)

Вариант	Ротация	2005 г				2006 г			
		стебли	% к контролю	корни	% к контролю	стебли	% к контролю	корни	% к контролю
1	1-я	420,3	—	61,0	—	370,1	—	50,5	—
	2-я	352,6	—	52,4	—	283,6	—	32,5	—
2	1-я	708,4	168	103,3	169	550,8	149	73,2	145
	2-я	545,1	154	87,6	167	432,5	152	51,0	156
3	1-я	723	172	101,4	166	610	164	87,5	173
	2-я	550,9	156	86,7	165	454,2	160	54,3	167
4	1-я	595,4	134	94,6	155	480,7	130	76,4	151
	2-я	433,2	123	81,7	156	356,8	126	51,3	157

Т а б л и ц а 4

Содержание ТМ (мг/кг) в надземной и корневой частях растений горчицы белой, 2005 г.

Вариант	Свинец		Кадмий		Медь		Цинк	
	ротации							
	1-я	2-я	1-я	2-я	1-я	2-я	1-я	2-я
1. Стебли	2,34	0,55	1,00	0,60	18,45	14,98	154,80	129,18
Корни	2,33	0,68	1,01	0,30	35,67	15,92	91,04	81,50
2. Стебли	0,76	0,16	0,80	0,87	24,58	15,79	104,05	172,40
Корни	2,12	0,42	0,87	0,30	38,06	17,38	87,85	89,70
3. Стебли	1,16	0,28	1,16	0,56	31,82	16,23	101,94	155,17
Корни	3,78	0,47	0,99	0,29	44,48	18,85	113,88	100,62
4. Стебли	1,03	0,41	1,01	1,06	21,96	17,02	113,37	134,12
Корни	2,80	0,46	1,13	0,44	40,69	20,14	106,48	106,73
НСР _{05ст.}	0,10	0,05	0,08	0,04	1,6	0,72	8,0	7,7
НСР _{05кор.}	0,18	0,07	0,04	0,02	2,1	1,05	7,8	7,1

опыта. С увеличением доз внесения ОСВ содержание всех ТМ было наибольшим при дозе осадка 80 т/га. Дальнейшее повышение доз вносимого ОСВ приводило к снижению содержания всех ТМ в надземной массе растений. В корневой массе горчицы максимальное содержание свинца и меди обнаружено в варианте с внесением на 1 га 80 т ОСВ. Увеличение вносимой дозы осадка не привело к достоверному возрастанию накопления растениями анализируемых ТМ.

Во 2-й ротации по всем анализируемым металлам, кроме цинка, отмечено снижение способности растений поглощать ионы тяжелых металлов, но сохраняется классическое распределение токсикантов по превосходящему накоплению свинца и меди корневой частью растений.

При дефиците атмосферных осадков в июле - августе ослабленный осмос внутри проводящей системы растения не создает условий для динамического набора скорости поглощения различных ионов из почвенного раствора. Вероятно, в почвенном растворе при недостатке влаги в прикорневой зоне создается повышенная концентрация доступных ионов солей тяжелых металлов и на раннем этапе онтогенеза у растений горчицы белой

провоцируется процесс механизма биохимического барьера, препятствующий продвижению и поступлению различных катионов и анионов по проводящим сосудам ксилемных тканей в надземную часть растений.

В полевой сезон 2006 г. были отобраны растительные пробы в вариантах с целью определения содержания тяжелых металлов с последующим анализом полученных результатов (табл. 5).

Свинец и медь интенсивнее накапливаются в корневой части растений, кадмий и особенно цинк локализуются в надземной части. Общее низкое поглощение кадмия горчицей белой, вероятно, связано с реакциями химического замещения в почвенном комплексе, а также избирательной способностью растений поглощать и накапливать определенные катионы тяжелых металлов.

На основании проведенных анализов можно с достаточной достоверностью констатировать, что порог токсичности для свинца в установленных дозах внесения ОСВ отмечается у растений 3-го варианта. Аккумуляция корнями в этом варианте составляет по свинцу 3,77 мг/кг при 1-й ротации и 2,15 — при 2-й, а в 4-м варианте при увеличении дозы ОСВ — соответ-

Т а б л и ц а 5
Содержание ТМ (мг/кг) в надземной и корневой частях растений горчицы белой, 2006 г.

Вариант	Свинец		Кадмий		Медь		Цинк	
	ротации							
	1-я	2-я	1-я	2-я	1-я	2-я	1-я	2-я
1. Стебли	0,86	0,33	0,90	0,74	18,99	14,56	151,04	112,41
Корни	1,58	0,85	0,85	0,68	21,57	18,75	131,66	104,58
2. Стебли	1,31	0,87	0,73	0,67	14,00	16,48	98,88	86,13
Корни	2,25	1,54	0,68	0,49	17,27	18,31	87,08	74,21
3. Стебли	2,20	1,17	1,23	0,67	18,25	15,41	149,45	123,62
Корни	3,77	2,15	0,76	0,41	38,67	24,76	71,16	86,43
4. Стебли	1,18	0,97	1,35	0,92	20,60	19,32	154,41	148,92
Корни	2,63	1,45	0,76	0,65	42,03	27,16	98,83	101,24
НСР _{05ст.}	0,05	0,04	0,07	0,05	1,16	0,99	9,05	6,2
НСР _{05кор.}	0,06	0,07	0,08	0,04	1,6	0,94	4,25	7,0

ственно 2,63 и 1,45 мг/кг. Для остальных металлов сохраняется тенденция к возрастанию поглощения токсикантов растениями при увеличении дозы вносимого обезвоженного осадка сточных вод.

После внесения ОСВ увеличилось содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почве (табл. 6).

Для оценки экологической эффективности фитосанации почвы за 2-летний период были рассчитаны показатели выноса тяжелых металлов над-

земной и корневой частью растений горчицы белой (табл. 7).

Повышение доз ОСВ способствует увеличению выноса всех ТМ растениями горчицы белой. При этом максимальный вынос всех ТМ надземной частью растений приходится на 3-й вариант опыта (80 т/га), причем вынос свинца в 1,9, кадмия — в 1,8, меди — в 2,1 и цинка — в 2,1 раза больше по сравнению с контрольным вариантом. Дальнейшее увеличение дозы ОСВ (120 т/а) приводит к снижению выноса

Таблица 6

Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (мг/кг) в почве после внесения ОСВ, 2005 г.

Вариант	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк	Показатель суммарного загрязнения почвы тяжелыми металлами
1	12,20	2,27	178,55	161,53	14,7
2	13,55	2,39	183,32	178,00	15,5
3	15,28	2,68	196,56	215,28	17,5
4	17,74	2,81	216,75	227,56	18,9
Фон (кларк)	10	0,5	20	50	$\bar{Z}_c = \sum K_c - (n - 1)$

Таблица 7

Вынос ТМ (мг/м²) с урожаем растений белой горчицы

Вариант	Ротация	Свинец		Кадмий		Медь		Цинк	
		2005 г.	2006 г.	2005 г.	2006 г.	2005 г.	2006 г.	2005 г.	2006 г.
1	1-я стебли	0,99	0,32	0,42	0,33	7,75	7,03	65,06	55,90
	2-я стебли	0,19	0,09	0,21	0,21	5,28	4,13	45,55	31,88
	1-я корни	0,14	0,08	0,06	0,04	1,80	1,09	5,55	6,65
	2-я корни	0,04	0,03	0,02	0,02	0,83	0,61	2,65	3,34
	Итого	1,9		1,3		28,5		160,7	
2	1-я стебли	0,54	0,72	0,52	0,40	17,41	7,77	73,71	54,46
	2-я стебли	0,09	0,25	0,47	0,29	8,61	7,13	93,96	37,25
	1-я корни	0,22	0,17	0,09	0,05	3,93	1,26	9,07	6,37
	2-я корни	0,04	0,08	0,03	0,03	1,52	0,93	7,86	3,78
	Итого	2,1		1,9		48,6		286,5	
	В % к контролю	110		146		170		178	
3	1-я стебли	0,84	1,34	0,84	0,75	23,01	11,14	73,72	91,21
	2-я стебли	0,15	0,53	0,31	0,30	8,94	7,37	85,48	56,15
	1-я корни	0,38	0,33	0,10	0,07	4,51	3,38	11,56	6,23
	2-я корни	0,04	0,12	0,02	0,02	1,63	1,34	8,72	4,69
	Итого	3,7		2,4		61,3		337,75	
	В % к контролю	194		184		215		210	
4	1-я стебли	0,61	0,57	0,60	0,65	13,07	9,90	67,50	74,22
	2-я стебли	0,18	0,35	0,46	0,33	7,37	6,89	58,10	53,13
	1-я корни	0,26	0,20	0,11	0,06	3,85	0,11	10,07	7,55
	2-я корни	0,04	0,07	0,04	0,03	1,65	1,39	8,72	5,19
	Итого	2,3		2,3		44,2		284,5	
	В % к контролю	121		176		155		177	

металлов. Наибольший вынос всех ТМ корневой частью растений наблюдается при дозе внесения ОСВ 80 т/га.

При анализе данных за два года об общем выносе ТМ растениями горчицы белой было установлено, что содержание свинца и меди в корневой массе является доминирующим по отношению к надземной части и поэтому в технологии фитосанации необходимо использовать агроприемы, обеспечивающие полное удаление растений из загрязненной почвы. Накопление кадмия, вследствие его высокой подвижности, больше в надземной части растений во всех вариантах опыта. Аккумуляция свинца в надземной массе была наибольшая при дозе осадка ОСВ 80 т/га, а кадмия — при дозе 40 т/га.

При оценке накопления ТМ за период вегетации следует отметить, что аккумулирующая способность растений горчицы белой проявлялась уже при наименьшей дозе внесения ОСВ (40 т/га). Максимальный вынос всех тяжелых металлов наблюдался при дозе ОСВ 80 т/га. Снижение суммарного выноса всех ТМ в 4-м варианте, вероятно, связано с проявлением токсического действия ионов тяжелых металлов на опытные растения, а следовательно, их меньшей продуктивностью (см. табл. 4, 7).

Второй год исследований является промежуточным этапом для всего процесса очистки почвы при использованных дозах внесения ОСВ. В полевых условиях вариабельность содержания в почве тяжелых металлов может быть существенна даже в пределах одной повторности, а экологическая эффективность фиторемедиации зависит, несомненно, от продолжительности применения фитосанации на загрязненных участках, аккумулирующей активности фитомелиоранта и от метеорологических условий по ротациям каждого полевого сезона.

С учетом данных о продуктивности растений горчицы белой и выносе ток-

сикантов за два года следует подчеркнуть, что доза ОСВ 80 т/га наиболее экологически целесообразна при проведении мероприятий по фитосанации почв с.-х. назначения.

Выводы

1. Осадок очистных сооружений г. Истры относится к 1-й группе по допустимому содержанию тяжелых металлов и характеризуется нейтральной реакцией ($\text{pH}_{\text{сол}}$), высоким содержанием общего азота, фосфора, калия и органического вещества.

2. При проведении фитосанации за 2-летний период внесенный осадок в дозах 40, 80 120 т/га положительно влиял на продуктивность растений белой горчицы. Наибольшая урожайность надземной массы получена в 4-м варианте (80 т ОСВ/га) и составила в 1-ю ротацию — 172 и 164, во 2-ю — 156 и 160% от контроля за каждый год исследований.

3. Аккумуляция ионов свинца, меди и цинка растениями белой горчицы эффективна при дозах внесения осадка 40—80 т/га. Доза обезвоженного осадка 120 т/га оказывает токсичное действие на растения из-за высокого содержания тяжелых металлов в ризосферной зоне, что подтверждается снижением продуктивности и содержанием анализируемых металлов в стеблевой и корневой частях растений.

4. Выявлена закономерность аккумуляции исследуемых металлов в надземной и корневой части растений — содержание свинца по ротациям в корнях растений в 4-м варианте в среднем выше, на 77 и 76% чем в надземной части, меди — на 85 и 56% за 1-й и 2-й год исследований соответственно, в накоплении кадмия в стеблях отмечено увеличение содержания металла во 2-ю ротацию 2005 г. и последующие ротации 2006 г.

5. Существенные и достоверные различия в накоплении цинка в корневой и стеблевой частях растений белой горчицы отмечены во 2-ю ротацию 2005 г. и последующие ротации 2-го года исследований.

6. Максимальный суммарный вынос за два года исследований (надземная и

корневая части) тяжелых металлов из почвы растениями белой горчицы наблюдался при дозе внесения осадка 80 т/га. По сравнению с контролем свинца выносятся больше на 94%, кадмия, меди и цинка на 84, 115 и 110% соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдфарб Л.Л., Туровский И.С., Беляева С.Д. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрения. М: Стройиздат, 1983. — 2. Додолина В.Т., Мерзлая Г.Е. Экологические методы и исследования отходов // Достижения науки и техники, 2000. № 11. С. 78-79. — 3. Душенков В. Раскин И. Фиторемедиация — зеленая революция в экологии // Химия и жизнь 21 век, 1999. № 11-12. С. 48-49. — 4. Кудряшова В.И. Аккумуляция ТМ дикорастущими растениями. Автореф. дисс. Саранск, 2003 г. — 5. Курганова Е.В., Конейкина О.А., Гюнтер Л.И., Беляева С.Д. Комплексная оценка осадков сточных вод // Агрехимический вестник, 1999. № 3. С. 38-40. — 6. Ладонин В.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрокультуре / Под ред. Н.З. Милашенко / ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. М.: Агроконсалт, 2002. — 7. Овчаренко М.М., Шильникова И.А. и др. Тяжелые металлы в системе почва - растение - удобрение. М., 1997. — 8. Пиртола Л. Обработка илов / / 4-й международный конгресс «Вода: экология и технология». Экватек - 2000. 30 мая - 2 июня 2000 г.: Тез. докл. М., 2000. — С. 561-562. — 9. Пупырев Е.И. Современные методы илоудаления, обезвреживания и депонирования осадков сточных вод / Е.И. Пупырев, А.С. Шеломков, Б.А. Вайсфельд, В.А. Загорский // 4-й международный конгресс «Вода: экология и технология». Экватек - 2000. 30 мая - 2 июня 2000 г.: Тез. докл. М., 2000. С. 568-569. — 10. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почв / Пер. с румын. К.И. Станькова; Под ред. и с предисл. В.К. Штефана. М.: ВО Агропромиздат, 1986. — 11. Тарасов С.И., Комарова Н.А. Фитореабилитация почв, загрязненных бесподстилочным навозом // Бюлл. ВИУА, 2000. №113. с. 18-21. — 12. Pecher A.; Anders L., Bertz M. Schr.-R. / Verb.Dt.Landw. Unters. Forsch.-Anst.-Darmstard, 1995. № 40. P. 663-666.

Рецензенты — проф. Н.И. Аканова,
В.А. Гарнецкий, проф. М.Н. Кондратьев

SUMMARY

The questions of soils phytoremediation after application of organo-mineral fertilizer-waste-water mud-have been examined. During experiment lasting 2 years it's been found out that white mustard plants intensively accumulate toxic matter in their roots. Ecological effect of polluted crop lands cleaning with the help of plant does rise if phytosanation technology suggests repeated rotation in one season and complete removal of phytomeliorant.