

УДК 632.931.1:631.8:631.582

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ БЕЛОЙ ГОРЧИЦЫ (*SINAPIS ALBA*. L) ПРИ ВНЕСЕНИИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД В ПОЧВУ

Д.А. ПОСТНИКОВ, Л.В. РОМОДИНА, С.В. КУЗНЕЦОВ, А.Ю. ЩЕРБАКОВ*

(Кафедра экологии, кафедра агрономической и биологической химии)

Изучены вопросы фиторемедиации почв после внесения в качестве органического удобрения осадка сточных вод (ОСВ). В ходе проведения эксперимента в условиях 2-летнего вегетационного опыта установлено, что растения белой горчицы обладают высоким коэффициентом биологического поглощения к исследованной группе тяжелых металлов, активнее всего растения поглощают из почвы цинк.

При технологическом процессе очистки сточных вод промышленного и хозяйственного-бытового типов на очистных предприятиях за последние 20-30 лет образовались огромные массы отходов в виде осадка сточных вод (ОСВ). Мировое производство ОСВ оценивается в 20×10^9 т/год [16].

Ежегодно на очистных сооружениях городов России образуется более 100 млн м³ осадка сточных вод. Из этого количества лишь 10—15% подвергаются обработке в соответствии с современными экологическими требованиями и еще меньшая часть (не более 1,5%) утилизируется [15].

Все виды отходов после очистки сточных вод имеют высокий энергетический потенциал и, несомненно, должны рассматриваться как возобновляемые ресурсы для получения продукции [4].

Одним из способов утилизации ОСВ является их сжигание [10]. Следует отметить, что сжигание осадка полностью исключает рециклинг

соединений фосфора, азота и калия, высокое содержание которых, несомненно, представляет ценность для повышения плодородия почв с низким содержанием основных питательных элементов.

В настоящее время разработано большое количество способов обработки ОСВ, депонирования или уничтожения, каждый из которых имеет свои преимущества или недостатки, определяемые местными условиями. Все эти способы требуют обеспечения высокой степени обезвреживания [11].

Утилизация стабилизированного осадка представляет проблему прежде всего из-за отсутствия экологически и экономически обоснованной технологии для использования ОСВ в различных отраслях народного хозяйства, существующие способы утилизации находятся в стадии производственных испытаний [15].

При использовании ОСВ в качестве удобрений на основании проведенных исследований отмечается,

* НИЭС.

что после внесения осадка в дозе 120 т/га на 3-й год содержание органического вещества увеличивается незначительно — в среднем на 0,6% [6]. Органическое вещество осадка сточных вод имеет высокую зольность, считается, что в 1-й год внесения разлагается 20~35% органический субстанций ОСВ [17].

В исследованиях, посвященных изучению влияния вносимого осадка на показатели плодородия, показано, что нестабилизированный ОСВ не способен обеспечить длительное положительное увеличение органического углерода [2], по истечении 5-летнего срока после внесения содержание органического вещества практически возвращается на прежнее значение до внесения [14].

Наибольшее значение применение ОСВ в качестве удобрения приобретает на почвах с низким содержанием азота, доступного фосфора и калия, при низких дозах внесения ОСВ (10—30 т/га) отмечается увеличение содержания в пахотном слое основных элементов питания в 2-2,5 раза [1, 8].

В сельскохозяйственном производстве ОСВ не всегда могут использоваться в качестве удобрения. Основными сдерживающими факторами часто являются неудовлетворительные физические свойства ОСВ и повышенное содержание солей тяжелых металлов [12]. Так, при внесении осадков сточных вод в пахотный слой чернозема выщелоченного отмечено увеличение валового содержания тяжелых металлов (Cd, Pb, Си, Zn, Ni). Содержание подвижного кадмия и никеля возросло до уровня ПДК в верхнем слое почвы. При внесении ОСВ в дозах 80 и 100 т/га повысилось содержание цинка в зерне озимой и яровой пшеницы до показателей,

опасных для здоровья человека [6].

Разработка эффективных способов снижения высокого содержания токсических элементов в пахотном слое почвы после внесения ОСВ является в настоящее время актуальной задачей и, несомненно, имеет практическое значение.

Одним из экологических приемов подготовки ОСВ для использования в агрофере в качестве удобрения является фитосанация.

Фитосанация, или фиторемедиация — это возделывание специальных растений, которые извлекают из почвы и концентрируют в своих тканях тяжелые металлы. При использовании этого приема образовавшуюся растительную массу скашивают и в последующем утилизируют (сжигают), а полученную золу используют как вторичное сырье [5].

Поглощение растениями тяжелых металлов, находящихся в виде свободных ионов в почвенном растворе и в виде обменных катионов из твердой фазы почвы, а затем накопление поллютантов в вегетативной массе растения может быть использовано для очищения почвы от повышенных количеств загрязнителей [3]. Так, в вегетационных опытах и проведенных полевых наблюдениях в зоне воздействия предприятия цветной металлургии была выявлена группа растений с относительно высоким коэффициентом биологического поглощения (КПБ) меди и никеля. В числе этих растений: салат зеленый с КПБ меди и никеля соответственно равными 1,31 и 1,05; щавель — 0,58 и 0,78; овсяница — 0,74 и 0,42; тимopheевка — 0,52 и 0,34 и костер — 0,45 и 0,24.

Наиболее перспективными при проведении санации и детоксикации загрязненной дерново-подзолистой

супесчаной почвы являются амарант и редька масличная [12].

Интересные с экологической точки зрения результаты были получены при проведении фитосанации почвы после внесения ОСВ при помощи раkitника. За исследуемый 3-летний период с побегими раkitника из почвы извлечено следующее количество экзогенных металлов, привнесенных с осадками сточных вод: РЬ — 4,0-0,2%, Cd — 113,3-8,0%. Данные показатели снижались по мере роста доз внесения осадков сточных вод. В результате проведенных исследований установлено, что загрязненные тяжелыми металлами почвы можно очищать, используя растения. Выращивание в этих условиях раkitника дает экономический и экологический эффект. Этот процесс, в случае высокого содержания тяжелых металлов в почве, необходимо осуществлять в течение многих лет [9].

Очистка почв, грунтов в смеси с ОСВ от высокотоксичного содержания тяжелых металлов и других поллютантов при решении проблемы повторного использования отходов имеет огромное значение не только для экологии города, района, области, но и становится важным экономическим фактором в повышении плодородия дерново-подзолистых почв, так как внесение местных ОСВ после проведенной фитосанации на спецполигонах или в хозяйствах экономически более целесообразно, чем закупка и внесение различных минеральных и органических удобрений.

Целью наших исследований было изучение эффективности аккумуляции тяжелых металлов из почвы растениями белой горчицы при различных дозах внесения ОСВ в условиях 2-летнего вегетационного опыта.

В задачи исследований входило определение:

содержания агрохимических показателей почвы до и после внесения ОСВ по вариантам опыта;

динамики содержания тяжелых металлов (ТМ) (первый год внесения ОСВ и в последствии) в почве по вариантам;

влияния возрастающих доз ОСВ на биометрические и фенологические показатели развития растений;

влияния различных доз ОСВ на продуктивность надземной части растений белой горчицы;

содержания ТМ в зеленой массе белой горчицы в фазу цветения по вариантам опыта в каждую ротацию;

коэффициента биологического поглощения (K_{6n}) ТМ зеленой массой белой горчицы.

Материал и методика исследований

В опыте использовали стабилизированный осадок сточных вод очистных сооружений г. Истры. Химический состав ОСВ приведен в табл. 1.

При изучении фитосанации в вариантах опыта использовали белую горчицу (*Sinapis alba* L.). Опыт был заложен в почвенной культуре. Использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву, расчет доз вносимого осадка проводили по сухой массе в 3 вариантах: 1 — контроль (без ОСВ); 2 — (ОСВ 16,6г/кг); 3 — (ОСВ 33,2 г/кг).

Содержание общего азота, фосфора и калия в ОСВ составило: 2,12; 4,95 и 0,32% соответственно, методики определения общепринятые.

Повторность опыта 4-кратная. Опыт был заложен в сосудах Митчерлиха, вместимостью 5,2 кг воздушно-сухой почвы. Почвенные образцы отбирали и анализировали на

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в ОСВ очистных сооружений, 2002 г.

Показатель	Методика испытаний	Результат	Допустимый уровень по ГОСТ	
			1-я группа	2-я группа
Свинец	AAC	37,4	250	500
Кадмий	AAC	5,6	15	30
Медь	AAC	539,2	750	1500
Цинк	AAC	686,7	1750	3500

содержание 4 тяжелых металлов (Cd, Pb, Си, Zn) по вариантам после окончания вегетации растений 2, 3 и 4-го сроков посева, кислоторастворимые формы металлов определяли в вытяжке 5 М HNO_3 (РД 52.18.191-89 МУ) атомно-абсорбционным анализом, подвижные формы металлов — в 1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (РД 52.18.289-90 МУ).

Число опытных растений во всех вариантах составляло 20 шт. на сосуд. Двухлетний эксперимент включал 4 срока вегетации горчицы белой. Биометрические наблюдения осуществляли в фазу бутонизации, учет урожая — в фазу цветения, после каждой ротации проводили перебивку сосудов.

Результаты и их обсуждение

После заполнения сосудов по схеме опыта почвой и смесями почвы с ОСВ были отобраны образцы.

Анализ полученных данных (табл. 2) позволяет заключить следующее: внесение ОСВ влияет на кислотность почвенного раствора, показатель pH солевой вытяжки изменился с 5,9 до 6,3, что, вероятно,

связано с нейтрализующим действием кальцийсодержащих компонентов ОСВ при внесении в почву.

При внесении по вариантам опыта возрастающих доз ОСВ увеличилось содержание органического вещества в почве с 1,5% в контрольном варианте до 2,15% при максимальной дозе ОСВ. В своем составе ОСВ имел высокое содержание подвижных форм фосфора и калия, поэтому существенно увеличились при его внесении эти показатели по сравнению с контролем.

При проведении биометрических учетов по вариантам опыта были получены данные, подтверждающие способность ОСВ улучшать показатели почвенного плодородия. Результаты представлены в табл. 3.

По результатам определения линейных размеров растений горчицы белой следует отметить, что, видимо, в первые две недели роста и развития после внесения ОСВ растения (1-я ротация 2002 г.) испытывают фитотоксическое действие различных веществ, в т. ч. и тяжелых металлов, но к началу фазы цветения развитие растений

Т а б л и ц а 2

Агрохимические показатели почвы по вариантам, 2002 г.

Вариант опыта	pH _{KCl}	Органическое вещество, %	Подвижные формы фосфора (P_2O_5), мг/кг	Подвижные формы калия (K_2O), мг/кг	Аммонийный азот, мг/кг	Кислоторастворимые формы металлов, мг/кг			
						Cd	Cu	Zn	Pb
1	5,9	1,49	236,0	200	122,5	0,140	9,1	69,7	10,8
2	6,2	1,90	580,0	290	430,0	0,430	16,2	91,0	11,3
3	6,3	2,15	616,0	315	448,6	0,620	25,3	113,2	12,1

Влияние ОСВ на биометрические показатели растений в фазу бутонизации, 2002-2003 г.

Вариант	1-я и 4-я ротации		2-я ротация		3-я ротация	
	линейные размеры, см	в % к контролю	линейные размеры, см	в % к контролю	линейные размеры, см	в % к контролю
1	22,9 26	—	20,2 —	—	28,9 —	—
2	14,9 32	65 123	24,9 —	123	37,1 —	128
3	10,1 34	44,1 130	21,4 —	106	34,4 —	118

Примечание. Здесь и далее: числитель — 2002 г.; знаменатель — 2003 г. (последствие).

по вариантам выровнялось, что, очевидно, связано с закреплением подвижных форм ТМ органическим веществом почвы и одновременно стабилизирующим действием органических соединений ОСВ. С большой долей вероятности можно также утверждать, что антиоксидантное действие ОСВ связано с закреплением подвижным фосфором мобильных катионов металлов. Во 2-м и 3-м вегетационном периоде белой горчицы по результатам биометрических учетов не наблюдалось признаков токсичного действия, отмечена положительная динамика в увеличении линейных размеров растений в вариантах с ОСВ.

По результатам биометрических наблюдений в 3-м (2002 г.) и 4-м вегетационном периоде (2003 г.) следует подчеркнуть, что токсического воздействия в вариантах с ОСВ

не отмечалось. Опытные растения в среднем по линейным размерам превышали контроль на 20-26%.

В фазу цветения растений проводили скашивание и учет урожая сырой и сухой надземной массы. Результаты представлены в табл. 4.

Необходимо отметить, что в среднем период выращивания горчицы продолжался 25-26 дней. В начале проведения эксперимента нами была поставлена задача изучить возможность проведения вегетационных исследований по фитосаниции с максимально возможным числом ротаций (посев, уход, уборка и перебивка сосудов) с той целью, чтобы разработать технологическую схему фитосаниции на агроэкологическом полигоне. 3-ю ротацию закончили 13 сентября, между уборкой 2-й и посевом 3-й ротации интервал составил 12 дней.

Таблица 4

Урожайность надземной массы (г/сосуд) белой горчицы в фазу цветения по ротациям, 2002-2003 г.

Вариант	1-я и 4-я ротации			2-я ротация			3-я ротация		
	сырая	сухая	в % к контролю	сырая	сухая	в % к контролю	сырая	сухая	в % к контролю
1	64,2 44,3	9,3 7,8	—	44,8	7,8	—	68,9	11,2	—
2	83,9 89,7	12,3 16,3	128 208	57,2	9,1	116	109,7	17,5	156
3	70,8 90,1	10,7 17,2	111 220	58,7	9,4	120	121,3	19,4	173

Это было сделано с целью стабилизации возможного негативного воздействия корневых выделений белой горчицы на всхожесть семян.

По результатам полученных данных следует отметить, что дозы внесения ОСВ оказывали стимулирующее воздействие на динамику роста и развития горчицы белой. Во всех вариантах с внесением ОСВ были получены существенные прибавки продуктивности по сравнению с контрольными растениями.

В вариантах с ОСВ наиболее продуктивными в 2002 г. во 2-й и 3-й вегетационный период были растения 3-го варианта. Интересно отметить, что в данном варианте достигнуто максимальное значение урожайности в последствии 2003 г.

При анализе полученных результатов по содержанию ТМ в надземной массе растений (табл. 5) нами отмечено, что растения в вариантах с внесением ОСВ суммарно за 3 вегетационных периода выносят

тяжелых металлов больше, чем в контроле. Растения 3-го варианта при внесении высокой дозы ОСВ аккумулируют свинца на 66; кадмия — на 200; меди — на 90,5 и цинка — на 68,4% больше, чем растения в контроле.

По результатам, представленным в табл. 5 по накоплению растениями белой горчицы тяжелых металлов за вегетационный период в течение 3 ротаций, следует отметить, что во всех вариантах с внесением ОСВ возрастает суммарный вынос тяжелых металлов. При определении эффективности поглощения ТМ растениями рассчитали коэффициент биологического поглощения ($K_{бп}$) как отношение содержания тяжелого металла в растительном образце к подвижной форме содержания данного металла в почве перед опытной ротацией.

При оценке $K_{бп}$ (табл. 5) необходимо отметить, что растения об-

Таблица 5

Влияние ОСВ на содержание и вынос ТМ растениями белой горчицы (*Sinapis alba* L.), 2002 г.

Ротация	Содержание ТМ, мг/кг сух. массы								Вынос ТМ, мг/сосуд			
	Pb	$K_{бп}$	Cd	$K_{бп}$	Cu	$K_{бп}$	Zn	$K_{бп}$	Pb	Cd	Cu	Zn
Вариант 1												
1-я	3,00	—	1,16	—	7,40	—	64,40	—	0,03	0,01	0,07	0,62
2-я	2,08	—	0,6	—	9,56	—	151,60	—	0,01	0,005	0,07	1,12
3-я	1,51	0,9	0,31	1,00	8,17	9,1	113,30	2,6	0,02	0,003	0,07	1,27
Σ	6,6	—	1,53	—	25,13	—	329,3	—	0,06	0,02	0,21	3,01
Вариант 2												
1-я	3,36	—	1,42	—	8,90	—	100,40	—	0,04	0,02	0,11	1,23
2-я	2,44	—	0,98	—	10,56	—	162,40	—	0,02	0,012	0,13	1,00
3-я	2,14	0,9	0,41	1,00	10,50	3,2	136,80	2,2	0,04	0,007	0,18	2,40
Σ	7,9	—	2,01	—	29,96	—	399,60	—	0,08	0,04	0,31	4,62
% к контролю	120	—	131,4	—	119,2	—	121,4	—	133,3	200	148	153,5
Вариант 3												
1-я	2,90	—	0,97	—	7,30	—	115,20	—	0,03	0,01	0,08	1,23
2-я	2,34	—	0,67	—	16,12	—	165,60	—	0,02	0,01	0,12	1,24
3-я	2,67	0,8	0,48	1,07	10,34	2,3	134,30	2,3	0,05	0,01	0,20	2,6
Σ	7,91	—	2,12	—	33,84	—	415,1	—	0,1	0,03	0,4	5,07
% к контролю	120	—	138,6	—	113	—	126	—	166	300	190,5	168,4

ладают способностью избирательно поглощать химические элементы. При высоком содержании токсикантов в корнеобитаемом слое почвы у растений может включаться механизм детоксикации, состоящий в поступлении токсичных ионов в устойчивые части клетки.

В результате проведенных расчетов отмечено, что наибольшее значение $K_{\text{бп}}$ по данной группе металлов отмечено у растений белой горчицы по меди и цинку, а наименьшее — по свинцу и кадмию. Вероятно, это связано с тем, что ионы меди и цинка менее токсичны, чем свинца и кадмия для растений горчицы белой. На основании приведенных в табл. 5 данных следует, что наиболее активно растения белой горчицы поглощают катионы (в порядке возрастания): Cd, Pb, Си, Zn. С увеличением содержания ТМ в почве аккумулярующая способность несколько снижается, но в целом с повышением доз ОСВ формируется мощная вегетативная масса, чем и объясняется более высокий вынос металлов надземной массой белой горчицы во 2-м и 3-м вариантах.

В 2003 г. была проведена завершающая ротация (изучалось последствие ОСВ) белой горчицы по вариантам опыта (табл. 6).

При анализе результатов последствие осадков отмечено, что увеличение дозы ОСВ (2-й, 3-й варианты) не оказывало токсичного влияния на растения. Отмечена по-

ложительная динамика накопления всех изучаемых металлов в растениях по вариантам опыта. Наибольший коэффициент биологического поглощения по меди и цинку по результатам расчетов имели растения 3-го варианта. Вероятно, в условиях вегетационного опыта доза ОСВ 33,3 г/кг является пороговой, после которой опытные растения горчицы начнут испытывать токсический эффект от различных соединений, содержащихся в осадке сточных вод.

По сравнению с контролем растения в вариантах с дозами осадков выносили больше: Cd в 8 и 7 раз, Си в 1,5 и 1,8 раза и Zn в 5 и 5,8 раза соответственно, т. е. в условиях вегетационного опыта отмечалась высокая аккумулярующая способность белой горчицы по отношению к Cd и Zn. Следует отметить, что накопление свинца в сухой массе растений было также значительным при дозе внесения ОСВ 33,2 г/кг.

Несомненно, результаты вегетационных опытов не могут полностью раскрыть всю полноту транслокации ТМ в растениях, тем не менее они дают представление о возможности использования с.-х. культур, в частности горчицы белой, в целях фитомелиорации почв, загрязненных тяжелыми металлами при внесении повышенных доз осадков сточных вод.

Результаты определения содержания тяжелых металлов в почве представлены в табл. 7. Анализ по-

Т а б л и ц а 6

Содержание и вынос ТМ растениями белой горчицы (последствие 2003 г.)

Вариант	Содержание, мг/кг								Вынос, мг/сосуд			
	Cd	$K_{\text{бп}}$	Си	$K_{\text{с}}$	Zn	$K_{\text{с}}$	Pb	$K_{\text{бп}}$	Cd	Си	Zn	Pb
1	0,4	—	6,3	—	37,8	—	1,65	—	0,003	0,05	0,3	0,013
2	1,49	1,25	8,5	3,20	198,1	2,14	1,4	0,73	0,024	0,14	3,22	0,016
3	1,32	1,80	11,7	3,10	221,0	2,13	2,06	0,62	0,022	0,20	3,8	0,035
НСР ₀₅	0,21		0,94		9,23		0,19					

Содержание ТМ в почве (мг/кг) по вариантам после 2, 3 и 4 сроков вегетации белой горчицы, 2002-2003 г.

Вариант	Показатель							
	2/4 свинец	3*	2/4 кадмий	3*	2/4 медь	3*	2/4 цинк	3*
1	<u>1,6</u> 0,08	<u>1,0</u> 10,2	<u>0,3</u> 0,04	<u>0,1</u> 0,31	<u>0,9</u> 0,56	<u>0,8</u> 8,2	<u>58,7</u> 8,3	<u>44,3</u> 63,5
2	<u>2,3</u> 1,8	<u>2,1</u> 10,0	<u>0,4</u> 0,1	<u>0,30</u> 0,36	<u>3,3</u> 1,2	<u>2,5</u> 14,2	<u>63,2</u> 38,2	<u>60,4</u> 75,0
3	<u>3,4</u> 2,0	<u>3,3</u> 11,2	<u>0,45</u> 0,38	<u>0,41</u> 0,5	<u>4,5</u> 1,4	<u>3,1</u> 20,4	<u>57,2</u> 41,45	<u>54,3</u> 93,7
ПДК _{подв}	6,0		0,5		3,0		23	

* (2-я, 3-я вегетация) — числитель подвижные формы, знаменатель — валовое содержание

лученных результатов позволяет заключить, что растения белой горчицы за 4 срока посева в условиях 2-летнего вегетационного опыта снижают содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (контроль) и при внесении в различных дозах неминерализованного обезвоженного осадка сточных вод.

Анализ почвенных образцов 2003 г. проводили только на содержание подвижных форм металлов. Это было обусловлено тем, что за один срок выращивания после сезона 2002 г. мы не ожидали получения существенных различий по валовому содержанию тяжелых металлов в почве, как это было отмечено после проведения 3 ротаций в 2002 г. при анализе результатов, представленных в табл. 2 и 7.

На основании полученных результатов содержания подвижных форм тяжелых металлов после завершающего 4-го вегетационного периода следует отметить, что по всем вариантам прослеживается положительная динамика снижения содержания подвижных форм анализируемых металлов в почве. Вероятно, это связано с двумя независимыми процессами — с одной

стороны, возможно закрепление органическим веществом почвы подвижных катионов тяжелых металлов, а с другой — и это наиболее существенно — с фитоэкстракцией подвижных форм тяжелых металлов из почвы растениями белой горчицы.

Заключение

Проведенные исследования с горчицей белой в условиях вегетационного опыта подтверждают сведения из научных источников о возможности практического использования растений для санации территорий, загрязненных различными поллютантами. Посевы горчицы белой наиболее оптимально подходят для изучения эффективности фитосанации почвы при внесении различных доз ОСВ с целью экологического обоснования рециклинга отходов в агрофере, т. к. это растение отличается коротким сроком вегетации, быстрым увеличением продуктивности и интенсивным поглощением тяжелых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ существующего положения, оценка региональных особенностей и прогноз сельскохозяйственного использования осадков Московских станций аэрации в хозяйствах Московской области / Под редакцией акад. ВАСХНИЛ

- Милащенко Н. З.: ВАСХНИЛ, 1989. — 2. *Андропова Л.А.* Эколого-агрохимическая оценка применения осадков сточных вод и компостов на основе коры и лигнина при выращивании сельскохозяйственных растений на дерново-подзолистой почве // Автореф. канд. дисс. М., 2002. — 3. *Галиуллин Р. З., Галиуллина Р.Р.* Профилактика загрязнений ландшафтов ТМ: фиторемедиация сточных вод / / Агрохимия, 1999. № 3. С. 84—91. — 4. *Додолина В.Т., Мерзляя Г.Е.* Экологические методы использования отходов // Достижения науки и техники, 2000. № 11. С. 78-79. — 5. *Душенков В. Раскин И.* Фитомеридиация — зеленая революция в экологии // Химия и жизнь 21 век, 1999. № 11-12. С. 48-49. — 6. *Касатиков В.А., Касатикова С.М., Шабардина Н.П.* Агроэкономические и технологические аспекты производства и применения органических удобрений из городских отходов // Сб. трудов ВНИПТИОУ, 1999. Вып. 2. С. 190-196. — 7. *Кузин Е.Н., Гришин Г. Е.* Проблема тяжелых металлов при использовании осадка сточных вод как удобрения // Плодородие, 2003. № 6. С. 23—24. — 8. *Максаков В.И.* Экономическая эффективность использования осадков сточных вод // Агрохимический вестник, 2000. № 3. С. 27-28. — 9. *Мажайский Ю.А., Баран С., Кжывы Е. и др.* Фитосанация почв, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием ракушечника / Сб. трудов 4 съезд почвоведов. Мелиорация почв, 2004. — 10. *Пиуртола 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. — 11. *Пупырев Е.И.* Современные методы ило удаления, обезвоживания и депонирования осадков сточных вод / Е.И. Пупырев, А.С. Шеломков, Б.А. Вайсфельд и др. // 4-й международный конгресс «Вода: экология и технология», Экватек-2000: Тез. докл. (30 мая — 2 июня 2000 г.). М., 2000. С. 568-569. — 12. *Тарасова С.И., Комарова Н.А.* Фитореабилитация почв, загрязненных бесподстилочным навозом // Бюллетень ВИУА, 2000, № 113. С. 18-21. — 13. *Чеботарев Н.Т.* Влияние осадков сточных вод на плодородие дерново-подзолистой почвы (Внесение под картофель и ячмень) // Химия в сельском хозяйстве, 1997. № 6. С. 18-19. — 14. *Юмвихозе Э.* Эколого-биологическая оценка использования осадков сточных вод в качестве удобрения // Автореф. канд. дисс. М., 1999. — 15. *Яковлев С.В.* Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод / С.В. Яковлев, Л.С. Волков, Ю.В. Воронов, В.Л. Волков. — М.: Химия, 1999. — 16. *Alloway B. J., Jackson A. P. /j* The sci. of total environm, 1991. Vol. 100. P. 151-176. — 17. *Putman S., Houch C., Gallier W.* // Civ. Eng. (USA), 1989. № 3. P. 60-62.

SUMMARY

Questions of soil phytoremediation after sewage sediment application into it as organomineral fertilizer were studied. During two year experiment it was established that *Sinapis Alba* plants possess high coefficient of biological absorption of the group of heavy metals studied, zinc absorption being most active.