

УДК 631.95:631.879.2

ВЛИЯНИЕ МЕЛИОРАНТОВ И ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА МИГРАЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

В.А. КАСАТИКОВ, А.И. ЕСЬКОВ, В.А. ЧЕРНИКОВ, В.А. РАСКАТОВ,
С.М. КАСАТИКОВА, Н.П. ШАБАРДИНА

(Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности)

Приводятся результаты исследований влияния мелиорантов (глина, переходный торф, цеолит, доломитовая мука), вносимых по фону осадка городских сточных вод в дозе 100 т/га сухого вещества, на миграцию цинка, хрома, меди, кадмия и никеля в слое 0-40 см дерново-подзолистой супесчаной почвы. Выявлено, что содержание тяжелых металлов в пахотном слое почвы зависит от дозы осадков сточных вод и вида мелиоранта. В слое 20-40 см в отличие от слоя 0-20 см отмечено существенное снижение как уровня отдельных ТМ, так и их коэффициентов концентрации.

Утилизация сточных вод 25-30 лет назад осуществлялась преимущественно механическим удалением в окружающую среду без какой-либо предварительной очистки. С ростом городов и увеличением промышленного производства существенно возросли объемы образующихся сточных вод, поэтому строительство очистных сооружений в последние два десятилетия приобрело массовый характер. Однако при очистке сточных вод неизбежно возникает проблема утилизации образующихся осадков.

Осадки сточных вод (в дальнейшем для краткости

ОСВ) имеют сложный полиэлементный состав, содержат значительное количество органического вещества, азота и зольных элементов, в первую очередь фосфора. Это обуславливает целесообразность их широкого использования в качестве нетрадиционных органических удобрений в сельском хозяйстве, а также при городском озеленении. Однако при использовании ОСВ в этом качестве возможно загрязнение почвы тяжелыми металлами, особенно при использовании их в повышенных дозах (75 т и более по сухому веществу на 1 га удобряе-

мой площади) [4, 5]. Вызывает тревогу большое количество попадающей в почву с этим удобрением неспецифической, часто патогенной микрофлоры [6]. Сами ОСВ в силу содержания в них различных тяжелых металлов могут оказывать определенное влияние на почвенную микрофлору.

Существующие технологии очистки осадков городских сточных вод от ТМ не находят применения из-за нерентабельности, поэтому возникает проблема их утилизации на локальной территории. В связи с этим становится необходимым проведение исследований поведения ТМ в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы при использовании физических и физико-химических факторов, снижающих доступность ТМ растениям.

Установлено, что различные почвенные разности обладают способностью к иммобилизации ТМ, поступающих в почву в составе ОСВ [4, 5]. Эта способность определяется физическими и физико-химическими свойствами пахотного и подпахотного слоев почвы. Однако часть ТМ в составе ОСВ становится доступной растениям. Чтобы правильно оценить степень доступности ТМ в зависимости от нагрузки почвы ОСВ и использования приемов рекультивации почвы необхо-

димо проведение соответствующих полевых и лабораторных исследований. В связи с этим целесообразно проведение исследований в системе ОСВ-почва-растение в условиях экстремальных доз ОСВ и использования приемов рекультивации загрязненных почв. Целью данных исследований было изучение действия и последствий различных мелиорантов на агрогеохимические свойства почвы, удобренной ОСВ в высокой дозе — 100 т на 1 га по сухому веществу.

Методика

Почва опытного участка дерново-легкоподзоленная неглубококонтактно-глееватая, сформированная на двучленных ледниковых отложениях. Пахотный и иллювиальный горизонты находятся в толще супесчаного отложения, перекрывающего тяжелый моренный (остаточно-карбонатный) суглинок. Рельеф участка выровненный.

Полевой опыт по мелкоделючной схеме был заложен в 1998 г. Размер делянок 2,0 x 2,0 м. Повторность опыта - 5-кратная. Схема опыта приведена в табл. 1. Валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов в почве, мелиорантах и осадках городских сточных вод определяли методом атомной абсорбции. Использовали в опыте доломитовую муку,

Т а б л и ц а 1
Схема опыта

Вариант	Доза рекультиви- ванта, т/га
1 — контроль	—
2 — ОСВ 100 т/га (фон)	—
3 — фон + цеолит	15
4 — фон + цеолит	30
5 — фон + глина + + дол. мука	200+6
6 — фон + глина	200
7 — фон + торф + + дол. мука	60+6
8 — фон + торф	60

цеолит, глину, торф. Фоновым удобрением служил аэробностабилизированный ОСВ очистных сооружений г. Владимира. Он представляет собой рассыпчатый однородный материал темно-серого цвета без запаха с содержанием органического вещества от 33 до 40% при слабокислой ре-

акции ($pH_{\text{вод}} 5,5$), высоким количеством кислоторастворимого фосфора и легкогидролизуемого азота и низким — кислоторастворимого калия. При использовании этого вида ОСВ предполагается внесение калийных удобрений. В ОСВ имелось высокое валовое содержание кадмия, никеля, хрома и цинка (табл. 2).

Интерес представляет не только валовое содержание ТМ в ОСВ, но и их подвижность, которая характеризуется способностью переходить в вытяжку ацетат-аммонийного буфера. В эту вытяжку переходит 7,2% валового содержания цинка и 9% кадмия. Никель, медь и хром менее подвижны. Их содержание в этой вытяжке варьирует от 4 до 0,1%. В вытяжку 1М соляной кислоты переходит от 49 до 34% всех изучавшихся металлов, что

Т а б л и ц а 2

Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод
(мг/кг воздушно-сухого вещества)

Показатель	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Валовое содержание	80	1115	873	38400	720	367	120	3135
Солянокислая вытяжка	36	400	431	13200	236	125	41	1184
Ацетатно-аммонийный буфер (рН 4,8)	7,1	1	25,7	41,5	4,45	15,75	1,5	225
Нормативный уровень ТМ в ОСВ	30	1200	1500	-	2000	400	1000	4000

свидетельствует о возможном наличии идентичных типов связей этих металлов в ОСВ. Однако по характеристике подвижности металлов в ОСВ нельзя судить о потенциальном поведении ТМ в почве.

В состав осадков сточных вод, как уже отмечалось выше, входит ряд тяжелых металлов. При этом такие элементы, как Zn, Mn, Se, Си, а также Мо и Со, необходимы для роста растений и жизнедеятельности животных [3]. В то же время Ni, Cr, As, Cd, Pb и Hg не имеют определенного функционального значения для растений и животных. Содержание ТМ в ОСВ зависит от технологии их производства и концентрации в них промышленных сточных вод [1].

Результаты

При внесении ОСВ в почву в фоновом варианте отмечался рост валового содержания всей группы изучаемых ТМ (рисунок). В частности, уровень Cd, Cr, Си, Ni и Zn повысился соответственно на 650%, 83, 70, 47 и 111%. При анализе относительного изменения содержания ТМ применялись коэффициенты концентрации (K_c), которые рассчитывали по формуле

$$K_c = c_a / c_t,$$

где c_a - аномальная концентрация элемента в варианте;

c_t - концентрация элемента в контроле.

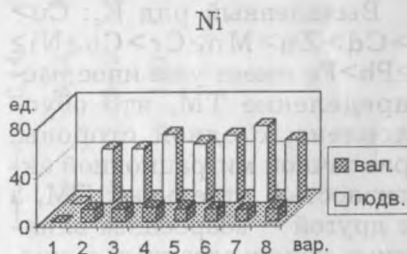
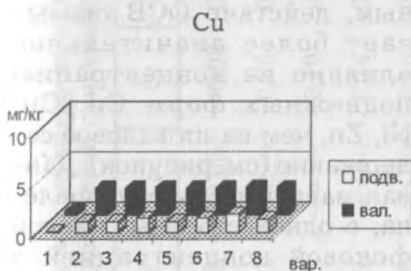
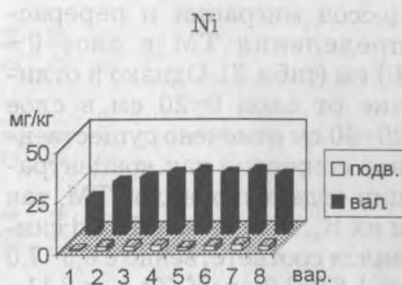
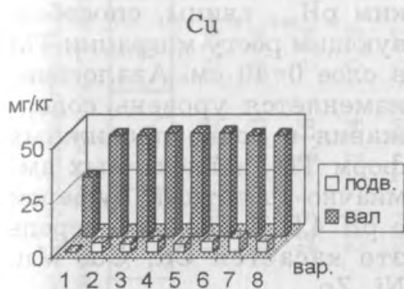
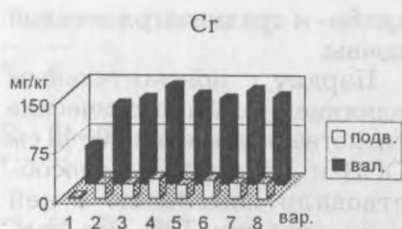
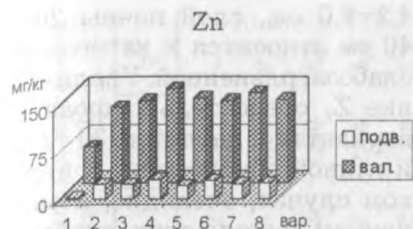
По значениям K_c фонового варианта выделен следующий убывающий ряд элементов: $Cd > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Fe > Mn$. Согласно этому ряду, под действием используемых в опыте ОСВ в максимальной степени повышается содержание в пахотном слое почвы Cd, а в минимальной - Мп, что обусловлено низким фоновым содержанием Cd в дерново-подзолистой почве опытного участка и повышенной концентрацией Cd в ОСВ.

Внесение мелиорантов, содержащих невысокое количество ТМ, особенно Cd, Со, Мп и Pb, не оказало существенного влияния на концентрацию отдельных ТМ в слое почвы 0-20 см. В качестве основного показателя, определяющего влияние ТМ на элементный состав почвы, использовали суммарное загрязнение почвы

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где: K_c - коэффициент концентрации, n - число элементов с $K_c > 1$.

В соответствии с величинами K_c наибольший уровень загрязнения почвы в слое 0-20 см получен при внесении по фону ОСВ цеолита в дозе 30 т/га и глины в сочетании с доломитовой мукой, что обусловлено дополнитель-



Действие ОСВ и мелиорантов на валовое содержание (темные столбики) и концентрацию подвижных форм (светлые) ТМ в слое 0-20см дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/кг сухого вещества.

1 - контроль, 2 - ОСВ 100 т/га (фон), 3 - фон + цеолит 15 т/га, 4 - фон + цеолит 30 т/га, 5 - фон + глина + доломитовая мука, 6 - фон + глина, 7 - фон+торф+доломитовая мука, 8 - фон + доломитовая мука. Z_c - показатель суммарного загрязнения почвы.

ным поступлением с ними в почву Cr, Si, Ni, Zn. Исходя из величины Z_c по вариантам опыта и соотнося их с критериями загрязненно-

сти почвы по данному показателю [2], следует отметить, что пахотный слой почвы по степени загрязнения находится на границе

слабо- и среднезагрязненной почвы.

Наряду с положительным влиянием на агрохимические свойства почвы слоя 20-40 см ОСВ и мелиоранты способствовали изменению в ней концентрации ТМ. Это свидетельствует о наличии процессов миграции и перераспределения ТМ в слое 0-40 см (табл. 3). Однако в отличие от слоя 0-20 см в слое 20-40 см отмечено существенное снижение как концентрации отдельных видов ТМ, так и их K_c , в частности K_c Cd снизился соответственно с 6,5—7,0 до 1,67-2,0 ед; K_c Zn — с 2,11-2,51 до 1,35-1,81 ед.

Выявленный ряд K_c : Си > Cd > Zn > Mn > Cr > Co > Ni > Pb > Fe имеет уже иное распределение ТМ, что обусловлено, с одной стороны, различной миграционной активностью отдельных ТМ, а с другой - возросшим влиянием использованных в опыте мелиорантов за счет сорбционных процессов, протекающих в почве.

Оценивая действие мелиорантов на миграцию ТМ в слое 0-40 см, следует выделить роль доломитовой муки как отдельно, так и в сочетании с глиной в снижении K_c ТМ. В данном случае известкование способствует иммобилизации ТМ и уменьшению их миграционной активности.

По величине Z_c , равной

4,2-6,0 ед., слой почвы 20-40 см относится к категории слабозагрязненной. Увеличение Z_c относительно фона в вариантах с цеолитом 30 т/га и глиной обусловлено в первом случае, очевидно, изменением физических свойств почвы, а во втором - низким $pH_{\text{сол}}$ глины, способствующим росту миграции ТМ в слое 0-40 см. Аналогично изменяется уровень содержания в почве подвижных форм ТМ, извлекаемых аммиачно-ацетатным буфером с pH 4,8. В первую очередь это касается Cd, Си, Мп, Ni, Zn.

Согласно полученным данным, действие ОСВ оказывает более значительное влияние на концентрацию подвижных форм Cd, Си, Ni, Zn, чем на их валовое содержание (см. рисунок). Данная зависимость обусловлена, с одной стороны, низкой фоновой концентрацией в слое 0-20 см изучаемых ТМ, а с другой - процессом разложения биомассы ОСВ и высвобождением ТМ из состава органоминеральных соединений. Выявленный ряд K_c подвижных форм ТМ для фонового варианта имеет распределение: Си > Zn > Ni > Cd > Fe > Pb > Cr. Следует отметить, что данный ряд K_c существенно отличается от ряда K_c по валовому содержанию ТМ.

Таблица 3

Действие осадков сточных вод и мелиорантов на валовое содержание группы тяжёлых металлов в слое 20-40 см дерново-подзолистой супесчаной почвы (мг/кг сухого вещества, 1998 г.)

Вариант	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Z _c
1 — контроль	0,08	<0,05	<0,08	0,23	17,0	1,75	0,16	0,2	1,12	—
2 — ОСВ 100 т/га — фон	0,21	— » —	0,08	0,44	16,6	3,53	0,36	0,3	3,57	9,3
3 — фон+цеолит 15 т/га	0,18	— » —	0,10	0,30	22,4	2,18	0,24	0,2	1,90	4,3
4 — фон+цеолит 30 т/га	0,31	— » —	0,14	0,32	23,6	2,14	0,29	0,2	2,04	5,4
5 — фон+глина+дол. мука	0,26	— » —	0,16	0,59	30,4	2,99	0,47	0,2	4,48	5,6
6 — фон+глина	0,33	— » —	0,14	0,40	22,4	2,93	0,44	0,2	2,72	8,7
7 — фон+торф+дол. мука	0,44	— » —	0,14	0,28	19,4	3,01	0,29	0,2	1,67	5,1
8 — фон+дол.мука	0,32	— » —	0,09	0,26	19,1	2,40	0,27	0,2	1,54	3,6
ПДК	2,0	—	100	132	—	—	80	32	220	—

Выводы

1. Уровень валового содержания тяжелых металлов в пахотном слое почвы определяется дозой осадка сточных вод и видом мелиоранта; достигает максимума по величине Zс при внесении цеолита в дозе 30 т/га и глины в сочетании с доломитовой мукой.

2. В слое 20-40 см выявлено существенное снижение как концентрации отдельных видов ТМ, так и показателя суммарного загрязнения Zс.

3. Осадки сточных вод оказывают более значительное влияние на концентрацию подвижных форм ТМ в слое почвы 0-40 см, чем на их валовое содержание.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Касатиков В.А., Руник В.Е., Касатикова С.М.* Агротехнологические свойства осадков сточных вод гг. Москва и Иваново и возможность их утилизации в сельском хозяйстве. — Опыт внедрения безотходной технологии

обработки сточных вод, утилизация осадков. Л.: ЛДНТП, 1989, с. 59-65. — 2. *Касатиков В.А.* Критерии загрязненности почвы и растений микроэлементами, тяжелыми металлами при использовании в качестве удобрения осадков городских сточных вод. — *Агрехимия*, 1991, № 11, с. 78-83. — 3. *Покровская С.Ф., Касатиков В.А.* Использование осадков городских сточных вод в сельском хозяйстве. — ВНИПТИЭИагропром, 1987. — 4. *Руник В.Е.* Агроэкологические аспекты использования термофильно-сброженных осадков сточных вод в качестве удобрений — Автореф. канд. дис. М., 1989. — 5. *Юмвихозе Эммануэль.* Эколого-биологическая оценка использования осадков сточных вод в качестве удобрения. — Автореф. канд. дис. М., 1999. — 6. *Staa H. van.* — *Pract. Landtechn.*, 1991, vol. 44, № 3, p. 235-239.

*Статья поступила
13 февраля 2002 г.*

SUMMARY

Results of investigating effect of meliorants (clay, transitional peat, zeolite, dolomitic meal) applied on the background of urban sewage sludge at the dose of 100 tons of dry substance per 1 ha on migration of zinc, chrome, copper, cadmium and nickel in 0-60 cm layer of soddy-podzolic sandy loam soil are presented. It has been found that the level of content of heavy metals in arable soil layer is determined by the dose of sewage sludge and kind of meliorant. By contrast to lauer 0—20 cm in layer of 20-40 cm the level of some heavy metals and of their concentration coefficients was much lower.