

# СПЕЦИФИКА ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВ С ВЫСОКИМ ФОНОМ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

## SPECIFICITY OF ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF SOILS WITH HIGH BACKGROUND OF SEWAGE SLUDGE

**A. Baranov**  
**M. Lunev**

*Summary.* The analysis of the criteria for assessing the safety of sewage sludge application for agricultural crops is given. On the example of long-term experience in the use of sediment, the features of soil bioassay techniques, changes in test reactions of test organisms in conditions correlating with the changing bioavailability of contaminants in the soil matrix are shown.

*Keywords:* soil, sewage sludge, bioassay, heavy metals, bioavailability.

**Баранов Александр Павлович**

С.н.с., ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова  
baranov.bigis@yandex.ru

**Лунев Михаил Иванович**

Д.б.н., г.н.с., ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова  
milunev@yandex.ru

*Аннотация.* Дан анализ критериям оценки экологической безопасности применения осадков сточных вод под сельскохозяйственные культуры. На примере долговременного опыта по применению осадка показаны особенности приемов биотестирования почвы, изменения тест-реакций опытных организмов в условиях меняющейся биодоступности контаминантов, коррелирующей с изменениями матрицы почвы.

*Ключевые слова:* почва, осадки сточных вод, биотестирование, тяжелые металлы, биодоступность.

**В** последние десятилетия все больше сточных вод очищается с целью уменьшить выход эвтрофицирующих веществ и ксенобиотиков в водную среду, что приводит к увеличению производства осадка сточных вод (ОСВ). С учетом улучшения технологических способов очистки осадков от сопутствующих токсических веществ и растущей практики применения ОСВ, широко проводятся опыты с многолетним и массивным применением осадков с целью определения токсико-экологических рисков внесения в почву контаминантов, присутствующих в осадках. Однако многочисленные исследования по оценке последствий ОСВ на почвенную биоту дают достаточно противоречивые результаты. Отмечается как положительное влияние на почвенную биоту и культивируемые растения [1–3], так и накопление отдельных тяжелых металлов (ТМ) в растениеводческой продукции [4].

Широкое использование ОСВ на фоне разнообразия таких почвенных показателей, как содержание органического вещества, кислотность, почвенно-поглощающий комплекс, содержание глины, водный режим, обуславливают необходимость комплексной интегральной оценки токсичности для каждой почвенной разности. Для более полной оценки зависимостей между загрязнением среды ТМ и результатами биотестирования нами были проведены исследования по биотестированию почвы, отобранной из полевых опытов по длительному применению ОСВ и дополнительно загрязненной кадмием в лабораторных условиях.

## Материалы и методы

Оценка последствий внесения ОСВ проводилась с почвой вариантов опыта по внесению ОСВ. проводимого на опытном поле ФГБНУ ВНИИОУ во Владимирской области в 2014–2017 гг. Опыт заложен в 1984 г. и занесен в Реестр Географической сети опытов с удобрениями РФ под № 089 «Изучить процесс рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием растений».

Суммарные дозы ОСВ приведены в расчете на 50% влажность почвы. Повторность опыта 6-ти кратная; размер делянки 1,5 x 2 м; учетная площадь 3 м<sup>2</sup>; по периметру опыта защитная полоса шириной 0,4 м; общая площадь опыта 300 м<sup>2</sup>. Аэробностабилизированные осадки сточных вод с очистных сооружений г. Владимира вносили ежегодно с 1984 по 1995 гг., а также периодически (в 2000, 2006, 2010 и 2015 гг.) осенью в сочетании с известкованием доломитовой мукой в дозах 3, 6, 9 т/га (в 1984, 1990, 1995, 2006 и 2015 гг.). Суммарные дозы ОСВ составили 180–1440 т/га (при 50% влажности). В результате длительного применения ОСВ в почву стационарного опыта поступило значительное количество тяжелых металлов (ТМ) (табл. 1).

Почва опытного участка дерново-подзолистая, сформированная на двучленных ледниковых отложениях. Пахотный и иллювиальный горизонты находятся в толще супесчаного отложения, перекрывающего тяжелый

Таблица 1. Валовое содержание ТМ в почве опыта (0–20 см)

Вариант по внесению ОСВ, т/га	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Ni
	мг/кг					
Контроль	1,95	64,2	47,9	120,5	18,7	8,7
180	3,17	57,6	50,9	111,4	15,6	7,5
360	4,78	60,0	55,2	120,9	15,7	9,2
720	6,51	87,1	86,3	154,0	16,8	12,8
1440	8,02	113,6	123,6	182,4	20,1	21,3

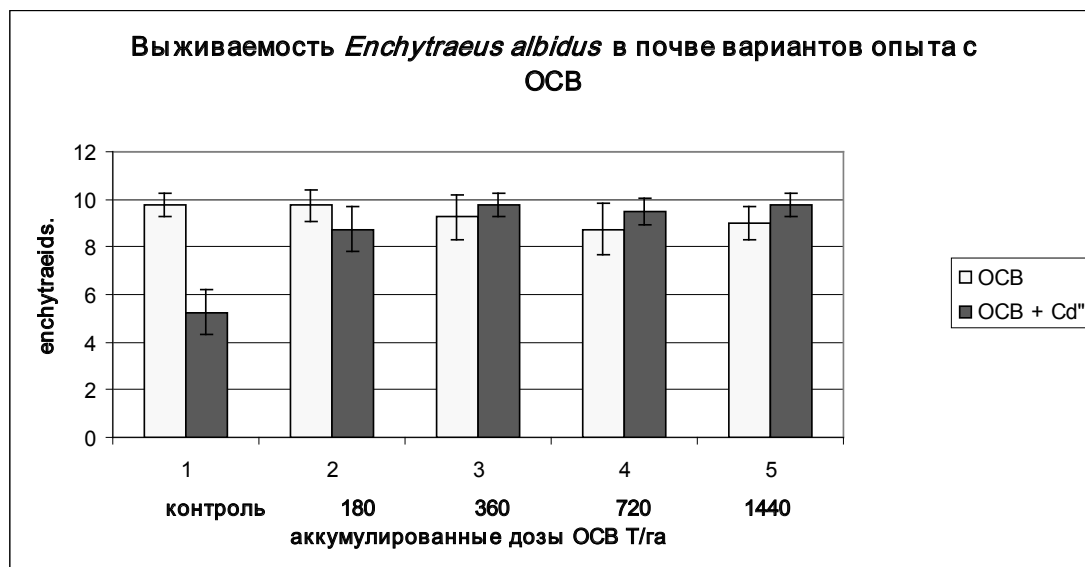


Рис. 1. Выживаемость *Enchytraeus albidus* в почве вариантов опыта с ОСВ.

моренный суглинок. Исходная агрохимическая характеристика слоя почвы

0–20 см в 1984 г. составляла:  $pH_{col}$  — 6,0;  $N_e$  — 1,05 мг-экв/100г почвы;  $S$  — 7,0 мг-экв/100г почвы;  $P_2O_5$  — 95 мг/кг почвы,  $K_2O$  — 43 мг/кг почвы,  $C_{орг}$  — 0,8%.

Для оценки влияния матрицы почвы, сформировавшейся при регулярном внесении специфического вещества осадка сточных вод, на реакцию подопытных организмов к тяжелым металлам, проводился эксперимент по сравнению чувствительности тест-культур к стандартному токсиканту Cd в почве с осадками и без них.

В образцы почвы по вариантам полевого опыта вносили нитрат кадмия  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$ . Кадмий азотнокислый (производитель ЛенРеактив) вносили в виде водного раствора в тонкий слой почвы (1см) с последующим тщательным перемешиванием и кондиционированием почвы в течение 3 недель. Концентрация кадмия в почвенных образцах составила 50 мг/кг.

Биотестирование почвы из различных вариантов опыта проводили с использованием стандартизированных методик биотестов с энхитреидами *Enchytraeus albidus* [5] и с высшим растением *Brassica rapa*, проведенном в климатической камере [6].

Статистическую обработку результатов биотестирования проводили с помощью программы MS Excel 2003 и прикладного пакета STATISTICA 6.0. Были определены общие статистические показатели: средние величины анализируемых показателей (M), стандартная ошибка среднего (m) и наименьшая существенная разность (НСР). Принятый в работе уровень значимости  $b = 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

На рис. 1 показаны результаты биотеста с энхитреидами *Enchytraeus albidus*. Все подопытные организмы выжили в двухнедельном биотесте в почве

всех вариантов опыта, несмотря на широкую шкалу доз ОСВ, увеличивающую содержание осадка почти

Таблица 2. Урожайность и содержание кадмия в *Brassica rapa*, культивированной на почве вариантов опыта

Вариант, ОСВ, кг/га	Урожайность, мг с.в.	Содержание Cd, мг/кг
контроль	506,4 ± 37,2	0,4 ± 0,03
180	672,7 ± 46,6	0,9 ± 0,07
360	737,5 ± 48,9	1,2 ± 0,05
720	1638,5 ± 123,4	3,6 ± 0,06
1440	2220,5 ± 113,7	4,1 ± 0,08

Таблица 3. Агрохимические показатели почвы контрастных вариантов полевого опыта

Вариант	pH <sub>KCL</sub>	H <sub>2</sub>	S (Ca+Mg)	ЕКО	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	
		мг.-экв./100 г			мг/100 г		0–20см	20–40см
Контроль, без удобрений	6,41	0,66	9,13	9,60	30	5,5	1,69	1,24
ОСВ, 1440 т/га	6,55	0,58	11,62	12,23	189	6,5	2,88	1,77

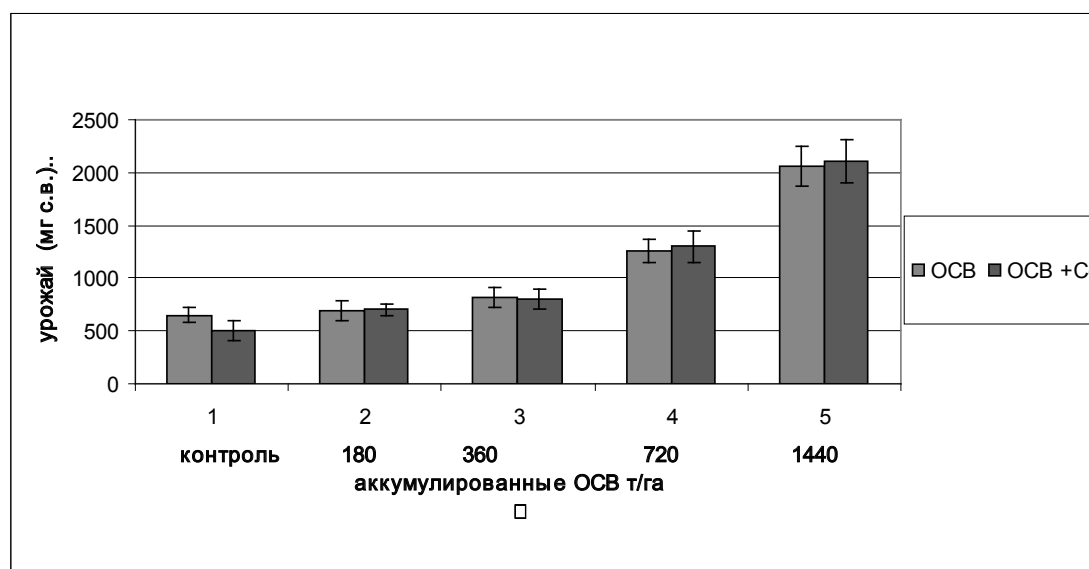


Рис. 2. Урожайность *Brassica rapa* в почве различных вариантов опыта.

на порядок, и достаточно высокий уровень по кадмию (8,02 мг/кг — табл. 1).

Выживаемость организмов в загрязненной кадмием почве в дозе 50 мг/кг по сравнению с вариантами ОСВ достоверно снизилась только на контроле.

На рис. 2 продемонстрирована возрастающая урожайность культуры на фоне растущих доз ОСВ. Несмотря на увеличение концентраций ТМ культура показывает устойчивый рост урожая. Добавка кадмия не оказывает существенного эффекта на показатель урожайности.

Для определения причин продемонстрированного эффекта и оценки его с точки зрения биодоступности ТМ был проведен анализ содержания кадмия в суммарной массе урожая (корни+листья+побеги) (табл. 2).

Данные, приведенные в табл. 2, демонстрируют пропорциональный внесенным дозам ОСВ рост урожайности культуры с высоким коэффициентом корреляции (0,974). Зависимость «доза-накопление кадмия» характеризуется коэффициентом 0,933. Представленные данные показывают, в какой степени такой показатель биотестирования, как урожайность, соответствует

оценке загрязнения в условиях длительного применения ОСВ.

Известно, что токсичность многих почвенных контаминантов в значительной степени зависит от почвенной матрицы, регулирующей как биодоступность, так и их форму нахождения в почве (степень связанности поглощаемого контаминанта) [7,8].

Данные табл. 3 показывают, как меняется матрица почвы у одного из сравниваемых при биотестировании вариантов (с максимальной дозой ОСВ). Изменение почвенных показателей в результате действия массы питательных веществ и жизнедеятельности биоты, в конеч-

ном итоге, влияет на результат биотестирования, снижая реальный токсический эффект за счет гумифицированного органического вещества.

### ВЫВОДЫ

1. Биотестирование почв с длительным применением высоких доз ОСВ может характеризоваться пониженной реакцией тест-культур на токсичность ТМ.
2. Снижение нормы реакции тест-культур на содержание ТМ в почве обусловлено уменьшением биодоступности и закреплением ТМ в матрице почвы с длительным применением ОСВ.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. J. Jensen. Ecotoxicological effect assessment and risk characterisation of selected contaminants in sewage sludge. PhD Thesis the Danish University of Pharmaceutical Sciences Department of Analytical Chemistry, 2004, 107 p.
2. K. Stöven, A. Al-Issa, J. Rogasik, S. Kratz, J. Kühn. Effect of long term sewage sludge applications on micro-organisms in an arable soil. Landbauforschung Volkenrode, 2005, 55(4): p.219–226.
3. A. Charlton, R. Sakrabani, S. Tyrrel, M. Rivas e.a. Long-term impact of sewage sludge application on soil microbial biomass: An evaluation using meta-analysis. Environmental Pollution, V. 219, December 2016, p.1021–1035.
4. G. Antonious, J. Snyder. Accumulation of heavy metals in plants and potential phytoremediation of lead by potato. J. Environ Sci Health A, 2007, May; 42(6): p.811–814.
5. Горшкова И. А., Гонгальский К. Б., Терехова В. А. Методика измерения токсичности почв по реакциям энхитреид. ФР.1.39.2014.18039. М., MDM print. 2014, 21 с.
6. OECD guideline for the testing of chemicals. 227, 2006, p.1–21.
7. Amorim M. J., Roembke J., Scheffczyk A., Soares A. M. Effect of different soil types on the enchytraeids *Enchytraeus albidus* and *Enchytraeus luxuriosus* using the herbicide Phenmedipham. Chemosphere. 2005, V.61 (8). P. 1102–1114.
8. Xanier Domene Casadesus. Methodologies using soil organisms for the ecotoxicological assesment of organic wastes. Universitat Autònoma de Barcelona, 2007, 217 p.

---

© Баранов Александр Павлович (baranov.bigis@yandex.ru), Лунев Михаил Иванович (milunev@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»