

УДК 504.054

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

¹Попова Ю.А., ²Иваненко Н.В.

¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,
e-mail: beautyinside-94@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,
Владивосток, e-mail: natalya.ivanenko@yvsu.ru

В статье приведены данные по содержанию тяжелых металлов (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb) в пахотных почвах Приморского края под посевами риса, овощными культурами, на целинных землях. Содержание тяжелых металлов в почвах показано на примере Хасанского и Спасского районов Приморского края. В образцах почвы определялось содержание подвижных форм металлов атомно-абсорбционным методом. Рассмотрено влияние агротехнических методов, интенсивной химизации на содержание тяжелых металлов в почвах при выращивании риса, сои и овощных культур. Внимание уделялось результатам, полученным с полей, арендуемых китайскими земледельцами. Уровни концентраций металлов сравнивали с таковыми на целинных и залежных участках, а также с пахотными угодьями, возделываемыми местными аграриями, использующими традиционные агротехнические методы, свойственные нашему региону. Рассчитывали показатель суммарного загрязнения почв Zc. Установлены различия в концентрациях тяжелых металлов в пахотных почвах, почвах целинных и залежных участков. Суммарный показатель химического загрязнения почв Zc показал допустимую степень загрязнения. Санитарно-гигиеническая оценка почв свидетельствует об относительно благополучной ситуации на фоне дегумификации, закисления и нарушения баланса обменных катионов в почвах исследуемых районов, арендуемых китайскими земледельцами. Дана оценка дальнейшим перспективам использования почв Приморского края в сельском хозяйстве. Показано, что избыточная химизация почв приводит к их деградации и может способствовать избыточному накоплению тяжелых металлов в почвах. В связи с этим в сельскохозяйственных районах Приморского края необходим регулярный контроль агрохимических показателей экологического состояния пахотных почв.

Ключевые слова: Приморский край, тяжелые металлы, загрязнение пахотных почв Приморского края, предельно допустимая концентрация, суммарный показатель загрязнения

CONTENT OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS OF PRIMORSKIY KRAI

¹Popova Yu.A., ²Ivanenko N.V.

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: beautyinside-94@mail.ru;

²Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: natalya.ivanenko@yvsu.ru

The article presents data on the content of heavy metals (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb) in agricultural soils of Primorskiy krai under rice crops, vegetable crops, and on virgin lands. The content of heavy metals in soils is shown on the example of the Khasanskiy and Spasskiy districts of Primorskiy krai. The content of mobile forms of metals was determined in soil samples by the atomic absorption method. The influence of agricultural methods, intensive chemicalization on the content of heavy metals in soils when growing rice, soybeans and vegetable crops is considered. Attention was paid to the results obtained from fields leased by Chinese farmers. The levels of metal concentrations were compared with concentrations in virgin and fallow areas, along with agricultural land cultivated by local farmers using traditional agricultural methods peculiar to our region. The index of total soil pollution with Zc was calculated. The concentrations of heavy metals in agricultural soils, soils of virgin and fallow plots have been differentiated. The total indicator of chemical soil pollution with Zc showed the acceptable degree of pollution. The sanitary and hygienic assessment of soils indicates a relatively favorable situation against the background of dehumification, acidification and disturbance of the balance of exchangeable cations in the soils of the studied areas leased by Chinese farmers. The further prospects for the use of soils of Primorskiy krai in agriculture were estimated. It has been shown that excessive chemicalization of soils leads to their degradation and can contribute to excessive accumulation of heavy metals in soils. In this connection, the regular monitoring of agrochemical indicators of the ecological state of agricultural soils is necessary in the agricultural regions of Primorskiy krai.

Keywords: Primorskiy krai, heavy metals, pollution of agricultural soils of Primorskiy krai, maximum permissible concentration, cumulative pollution index

В последние десятилетия в связи с интенсификацией сельского хозяйства, основанной на избыточном применении химикатов, возросла нагрузка на агроэкосистемы. Усилились процессы деградации почв, в том числе загрязнение почв тяжелыми металлами, входящими в состав многих удобрений и химических средств защиты

растений. Лидером по содержанию металлов является фосфатное сырье, содержащее в своем составе Mn, Zn, Sr, Cu, Co, Ni, Cr и другие, а также высокотоксичные Hg, Pb, Cd. Подобный набор элементов содержат калийная селитра, сульфат калия, карбамид, аммиачная селитра, сульфат аммония [1].

Интенсивная деградация сельскохозяйственных почв Дальнего Востока и Приморского края берет начало в 1990-х гг. и связана с прекращением поставок и применения минеральных удобрений и извести. Согласно официальным данным Росстата, в настоящее время более 70 тыс. га мелиорированных земель Приморского края находятся в неудовлетворительном состоянии. Плодородие пахотных почв в крае продолжает снижаться. Огромные площади земель, утратившие хозяйственную ценность или являющиеся источниками негативного воздействия на окружающую среду, относят к категории нарушенные, в связи с изменением почвенного покрова, водного режима и образованием антропогенных ландшафтов в результате производственной деятельности. В пахотных почвах при продолжительном их использовании изменяется количественное содержание микроэлементов.

Усугубляют ситуацию хозяйствующие субъекты, при освоении пахотных земель ставящие основной целью получение прибыли, не заботясь о сохранении и восстановлении почвенных ресурсов. Истощительные технологии выращивания риса, сои, овощных культур, основанные на усиленной химизации, характерны для китайских аграриев, арендующих плодородные земли Приморского края. Растениеводство КНР предусматривает внесение в почву высоких доз минеральных удобрений в количестве, превышающем среднемировое в 10 раз и более. Установлено, что темпы деградации арендуемых китайскими производителями в Приморье почв так же высоки, как в Китае, и они значительно превосходят таковые, свойственные другим российским территориям. Для сравнения, традиционная агротехника выращивания сельскохозяйственных культур, сложившаяся в России, не является ущербной в экологическом отношении [2].

Для отдельных районов Приморского края, с известной спецификой промышленной нагрузки рассматривается аэротехногенный вклад предприятий в загрязнение сельскохозяйственных земель, расположенных в зоне влияния локальных источников. Зоны загрязнения вокруг промышленных предприятий формируются в соответствии с розой ветров и рельефом местности.

Экологические проблемы Приморского края в целом связаны с размещением производств и сельскохозяйственных угодий на обширных территориях с различным уровнем освоенности. Нагрузка на природную среду мозаична, что приводит к серьез-

ным локальным нарушениям [3]. В Приморском крае выделяют территории, где пробы почв не соответствуют гигиеническим нормативам по содержанию металлов: г. Владивосток (Hg, Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, As), Артем (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co), Надеждинский район (Cr, Zn, Co), Шкотовский район (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co), Кавалеровский район (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd), Дальнегорск (Pb, Zn, Mn, Cu, Cd), Уссурийск (Pb, Cu, Cd) [4].

Линейным источником загрязнения (Zn, Pb, Cd) территорий, находящихся в сельскохозяйственном производстве, служит автотранспорт, зона воздействия которого около 100 м.

Загрязнение почв тяжелыми металлами вызывает многие негативные процессы – скорость разложения органического вещества почв, снижение биохимических процессов в почве (полифенолоксидазной, дегидрогеназной и липазной активностей). Для этой группы загрязнителей характерна высокая токсичность в отношении живых организмов, мутагенный и канцерогенный эффекты, воздействие с отдаленными последствиями. Избыточные концентрации тяжелых металлов в почвах приводят к угнетению почвенной микрофлоры и, как следствие, к ухудшению почвенного плодородия, нарушают обменные процессы в растениях, тем самым снижая продуктивность и качество сельскохозяйственной продукции. Вовлекаясь в биологический круговорот, накопление металлов в выращиваемых культурах впоследствии отражается и на здоровье человека [5].

Все это обуславливает необходимость контроля содержания тяжелых металлов в почвах, используемых в сельском хозяйстве. В центре внимания оказываются пахотные почвы.

Цель исследования – изучение современных уровней концентраций Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Co, Mn в пахотных почвах Приморского края.

Материалы и методы исследования

Содержание тяжелых металлов в почвах изучали в двух районах Приморского края: Спасском – на луговой глеевой почве, и в Хасанском районе – на аллювиальных почвах. Были исследованы поля, занятые посевами риса, сои и овощными культурами, находящиеся в аренде у китайских производителей не менее 10 лет.

Отбор проб и подготовка к анализу почвенных образцов проводились согласно ГОСТ Р 58595-2019 (Почвы. Почва. Методы

дики (методы) анализа состава и свойств проб почв). Почвенные пробы отбирались буром на глубину пахотного горизонта (0–20–30 см). На аллювиальных почвах, в профиле которых встречалась крупная галька, пробы отбирались лопатой на ту же глубину. Средний образец почвы с каждого поля состоял из 10 индивидуальных проб [6].

В усредненных образцах почвы определяли содержание подвижных форм металлов атомно-абсорбционным методом. Содержание подвижных форм элементов извлекали ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8, согласно общепринятой методике.

Исследования образцов проводили в специализированной лаборатории, использовали техническую базу Центра коллективного пользования Дальневосточного федерального университета (ЦКП ДВФУ).

Уровни концентраций металлов сравнивали с таковыми на целинных и залежных участках, а также с пахотными угодьями, возделываемыми местными аграриями, использующими традиционные агротехнические методы, свойственные нашему региону. Рассчитывали показатель суммарного загрязнения почв Zc.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в исследованных образцах представлено в табл. 1.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что минимальные концентрации элементов приурочены к целинным и залежным землям. В зависимости от характера использования поля уровни концентрации элементов отличались от целинных и залежных участков: Zn – в 3–6 раз; Cu, Co и Ni – в 2–3 раза; Mn – в 1,5–2,4 раза. Наибольший разброс значений отмечался для Cr и Pb. Концентрации Cr были выше в 8–30 раз, по отношению к целинным и залежным участкам, Pb – в 1,4–12 раз.

Разброс значений в агрогенных почвах обусловлен различием в их физико-химических свойствах. Так, например, в окультуренной легкосуглинистой почве свинец сравнительно быстро фиксируется минеральными компонентами. В более гумусированной, но и более кислой среднесуглинистой почве свинец в первую очередь связывается органическим веществом. Внесение удобрений меняет уровень и характер фиксации свинца почвами. Хром в почве разновалентен с преобладанием трехвалентного Cr³⁺, обладающего слабой растворимостью в кислой среде. В условиях щелочной среды возможно окисление Cr³⁺ до Cr⁶⁺ с образованием растворимых хроматов. Для хрома характерно отсутствие биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте, а распределение его по профилю почвы зависит от гранулометрического состава [8].

Таблица 1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Спасского и Хасанского районов Приморского края, мг/кг

Район исследования. Почва	Культура	Используемая технология	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni	Co	Mn
Спасский. Почва луговая, глеевая, суглинистая	Рис	КНР	1,76 ±0,26	6,54 ±1,03	1,66 ±0,51	0,24 ±0,03	0,33 ±0,01	0,30 ±0,01	н.о.
	Рис	КНР	3,09 ±0,42	8,57 ±1,02	7,43 ±0,81	0,70 ±0,12	0,21 ±0,01	0,27 ±0,01	126 ±15,1
	Овощи	РФ	2,38 ±0,11	10,82 ±1,05	8,49 ±0,63	0,92 ±0,11	0,28 ±0,02	0,65 ±0,17	н.о.
	Целина	РФ	0,30 ±0,10	3,68 ±0,73	1,23 ±0,22	0,03 ±0,001	0,10 ±0,02	0,26 ±0,01	230 ±14,4
Хасанский. Почва пойменная, на речном аллювии	Соя	КНР	2,80 ±0,25	7,11 ±1,05	26,27 ±5,03	0,41 ±0,10	0,41 ±0,01	0,49 ±0,03	98 ±12,7
	Залежь	РФ	0,50 ±0,10	4,38 ±0,32	2,26 ±0,30	0,04 ±0,001	0,12 ±0,01	0,28 ±0,01	н.о.
Оптимальная обеспеченность почв Приморья микроэлементами (вытяжка – 1 н СН1), мг/кг [7]			2–10	3–5	–	–	–	2–4	100–300

Установлена более низкая обеспеченность исследуемых почв растворимыми формами Mn, чем в целинных почвах (табл. 1). Причина может заключаться в выносе элемента при уборке урожая, недостатке органических удобрений (основной источник Mn) при проведении мелиоративных работ, а также в соотношении валовых и растворимых форм элемента. Содержание и распределение марганца в региональных почвах обусловлено неодинаковыми условиями почвообразования, различиями в гранулометрическом и минералогическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Легкорастворимые подвижные соединения марганца преобладают в восстановительных условиях [9–11].

Отрицательное действие ТМ проявляется при определённых условиях почвенной среды, позволяющих приобрести им подвижность, перейти в почвенный раствор и далее в растение.

Тяжёлый гранулометрический состав большинства почв края, обладающий высокой ёмкостью поглощения, предопределяет меньшую опасность загрязнения среды тяжёлыми металлами, а кислая реакция почв – неблагоприятна для их закрепления.

Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами проводилась с использованием критериев предельно допустимых концентраций (ПДК) (СанПиН 1.2.3685-21) (табл. 2, 3) [10].

Таблица 2

ПДК химических веществ в почве,
подвижная форма, мг/кг [12]

Наименование вещества	Величина ПДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)
Цинк (Zn)	23,0
Медь (Cu)	3,0
Свинец (Pb)	6,0
Хром (Cr)	6,0
Никель (Ni)	4,0
Кобальт (Co)	5,0
Марганец (Mn)	80,0

Без учета фона, на полях Спасского района, занятых овощными культурами (технология РФ), установлено превышение ПДК свинца в 1,4 раза, в почвах полей под посевами риса (технология КНР) – в 1,1 раз. Концентрации элемента в почве под культурой сои (технология КНР) Хасанского района превышали ПДК в 4,4 раза. Концентрация меди (без учета фона) превышала ПДК во всех пробах почв (включая целинные и залежные земли) исследуемых районов в 1,5–3,6 раз.

С учетом регионального фонового уровня содержание элементов соответствовало критериям предельно допустимых концентраций. Содержание подвижной меди в почвах Приморского края по известным данным находится в диапазоне от 0,2 до 31 мг/кг, кларк меди для Приморья составляет 20 мг/кг. Региональный кларк свинца – 32 мг/кг [7].

Таким образом, экологическая обстановка в отношении содержания химических элементов в почвах Спасского и Хасанского районов характеризуется как благоприятная.

Рассчитывали суммарный индекс загрязнения почвы (МУ 2.1.7.730-99):

$$Z_c = \sum C_i / \text{Спдк}_i - (n - 1),$$

где C_i – концентрация i -го вещества;

Спдк_i – ПДК i -го вещества;

n – число суммируемых веществ.

Таблица 3

Показатель
суммарного загрязнения почв Z_c

Категории загрязнения почв	Показатель суммарного загрязнения
Допустимая	1–8
Слабая	8–16
Средняя	16–32
Сильная	32–64
Очень сильная	64–128

Установлена допустимая степень загрязнения почв Хасанского и Спасского районов токсичными элементами (суммарный индекс загрязнения почв меньше единицы).

Не выявлено явных отличий в содержании тяжёлых металлов в зависимости от применяемой технологии (Китай, Россия).

Тем не менее согласно ранее опубликованным данным авторов настоящей статьи по изучению агрохимических свойств почв в указанных районах показано (табл. 4), что применяемая на полях Приморского края китайская технология ведет к их интенсивной дегумификации.

В Спасском районе содержание гумуса за 10 лет уменьшилось на 20%, в Хасанском – почти наполовину (47,0%). Применение китайской технологии кроме дегумификации почв способствовало увеличению их кислотности и снижению суммы поглощенных оснований по сравнению с залежными почвами и почвами, где использовалась отечественная технология, что также свидетельствует о более глубокой их деградации [13].

Таблица 4

Изменение экологических показателей пахотных почв ДФО, используемых китайскими арендаторами, при выращивании риса и других культур [13]

Район исследования. Почва.	Культура	Используемая технология	Содержание гумуса, %	pH сол.	Сумма Ca+Mg, мг/экв. на 100 г	Ca, мг/экв. на 100 г	Mg, мг/экв. на 100 г
Спасский. Почва луговая, глеевая, суглинистая	Рис	КНР	4,9±0,2	4,5±0,1	18,8±0,4	10,7± 02	8,1±0,3
	Рис	КНР	4,7±0,1	4,4±0,1	20,2±0,5	11,5± 0,1	8,7±0,2
	Овощи	РФ	5,7±0,3	5,3±0,4	26,2±0,6	19,8± 0,3	6,4±0,4
Хасанский. Почва пойменная, на речном аллювии	Соя	КНР	2,6±0,1	3,7±0,2	16,8±0,3	10,5±	6,3±0,2
	Соя	КНР	3,3±0,4	3,9±0,1	14,6±0,4	-	-
	Овощи	КНР	3,9±0,3	4,2±0,1	15,7±0,3	-	-
	Залежь	РФ	5,5±0,4	4,6±0,3	21,5±0,6	18,1± 0,3	3,4±0,1

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о различиях в концентрациях тяжелых металлов в пахотных почвах, почвах целинных и залежных участков. Наибольший разброс значений для рассматриваемых районов характерен для хрома и свинца. Превышения уровней предельно допустимой концентрации (с учетом фона) подвижных форм элементов в почвах не установлено.

Как известно, содержание тяжелых металлов в почве отражается на химическом составе растений. Это подтверждает необходимость как рационального и научно обоснованного внесения удобрений и применения химикатов, так и постоянного контроля содержания элементов и состоянием почвы, понимая при этом, применение каких удобрений способствует достижению наилучших результатов повышения урожайности и безопасности растениеводческой продукции.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что необходимо восстановление системы государственного контроля за состоянием почв, охватывающей регулярными наблюдениями все территории Приморского края.

Список литературы

1. Гладышев В.П., Пьяных Г.М., Колесникова Е.В., Нуриахметова Н.Р. Минеральные удобрения как источник загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции тяжелыми металлами // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2000. № 9. С. 24–27.

2. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Ковшик И.Г. Влияние длительного применения минеральных удобрений на экологию почв юга Дальнего Востока // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока. 2013. Т. 2. С. 17–27.

3. Коровицкий С.А., Тощая А.А. Загрязнение почв Дальнего Востока тяжелыми металлами // Новая наука: Опыт, традиции, инновации. 2016. № 12–3. С. 9–11.

4. Манахова Н.В., Трунова И.Е. Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов в почве и воде Приморского края // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2009. № 3. С. 47–48.

5. Ковалева Г.В., Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. 159 с.

6. ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

7. Голов В.И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2010. № 6. С. 19–22.

8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.

9. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Марганец в почвах и растениях южной части Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017. Т. 18. № 2. С. 43–47.

10. Бурдуковский М.Л. Марганец в агрофитоценозах юга Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2017. № 2. С. 91–97.

11. Тимофеева Я.О., Голов В.И., Кошелева Ю.А. Микроэлементы в растениях сои Дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. 2017. № 2. С. 31–35.

12. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Стандартинформ, 2021. 469 с.

13. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Иваненко Н.В., Попова Ю.А. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 1. С. 66–74.