

РОЛЬ ПОЧВОЗАЩИТНОГО СЕВООБОРОТА В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ АГРОЛАНДШАФТА

Захарова Ольга Алексеевна¹, Черкасов Олег Викторович², Кучер Ольга Дмитриевна³

^{1,2}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», г. Москва, Россия

ol-zahar.ru@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Рязанская ГРЭС является одним из особо опасных в экологическом отношении предприятий, вследствие трансгенного переноса токсикантов в радиусе 87,2 км. На землях вблизи источника загрязнения требуется проведение почвозащитных мероприятий. К биологическим мероприятиям относится применение почвозащитных севооборотов с включением культур-фиторемедиантов. Цель исследований - изучение роли почвозащитного севооборота в экологической стабильности агроландшафта в зоне влияния Рязанской ГРЭС.

Методология. Экологическая ситуация на территории Пронска относится к настораживающей. Погодные условия отличались внутри вегетации, но суммарно имели тенденцию к засушливости. Схема деляночного опыта включала варианты растений - фиторемедиантов при орошении. В расчетах использовались традиционные формулы для вычисления коэффициентов, отражающих уровень концентрации веществ. Определение в почве приоритетных для региона концентраций таких тяжелых металлов (ТМ), как медь, цинк, свинец и кадмий, ставилось на первое место. Для их анализа применялся метод полуколичественного спектрального анализа на специализированном приборе — спектрофотометре. Обработка результатов исследований проведена на компьютерной программе Statistika 10.

Результаты. Рассчитаны коэффициенты концентрации тяжелых металлов для многолетних трав в севообороте, показывающие суммарное загрязнение $Z=8,33$. За ротацию сельскохозяйственными культурами севооборота было вынесено ТМ около 4500 г/га. Исследуемые образцы растительности

демонстрируют различную общую массу сухого вещества, располагаясь в последовательности от наибольшей к наименьшей следующим образом: начиная с кукурузы, затем рожь, после которой идут многолетние злаки, далее овес, за ним просо и горох.

Заключение. Роль почвозащитного севооборота в экологической стабильности агроландшафта в зоне влияния Рязанской ГРЭС значительна: за одну вегетацию, за три сформированных травмами укоса было получено до 22 т/га зеленой массы, кукурузы на ранний силос - 38 т/га, озимой ржи - 3,7 т/га, овса - 16 т/га. В случае, когда аграрная продукция соответствует установленным стандартам качества, применение системы севооборота, ориентированной на защиту загрязненных почв, способствует постоянному выносу тяжелых металлов из почвы.

Ключевые слова: загрязнение, ландшафтная система земледелия, тяжелые металлы, почвозащитный севооборот.

Original article

THE ROLE OF SOIL PROTECTIVE CROPE ROTATION IN THE ECOLOGICAL STABILITY OF THE AGROLANDSCAPE

Zakharova Olga Alekseevna¹, Cherkasov Oleg Viktorovich², Kucher Olga Dmitrievna³

^{1,2} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

³ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation", Moscow, Russia

ol-zahar.ru@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. Ryazan GRES is one of the most environmentally hazardous enterprises due to the transgenic transfer of toxicants within a radius of 87.2 km. It is required to carry out soil protection measures on lands near the source of pollution. Biological measures include the use of soil-protective crop rotation with the inclusion of phytoremediant crops. The purpose of the research was to study the role of soil-protective crop rotation in the ecological stability of the agricultural landscape in the zone of influence of Ryazan GRES.

Methodology. The ecological situation on the territory of Pronsk is alarming. Weather conditions differed within the growing season, but they tended towards aridity. The scheme of the plot experiment included variants of phytoremediant plants under irrigation. The calculations used traditional formulas to calculate coefficients reflecting the level of concentration of substances. Determining the priority

concentrations of heavy metals such as copper, zinc, lead and cadmium in the soil for the region was given first priority. To analyze them, the method of semi-quantitative spectral analysis was used with a specialized device - a spectrophotometer. The research results were processed using Statistika 10 computer program.

Results. The concentration coefficients of heavy metals for perennial grasses in crop rotation were calculated, showing the total pollution $Z=8.33$. During the rotation of agricultural crops HMs were removed about 4 500 g/ha. The studied vegetation samples exhibited varying total dry matter mass, ranging from largest to smallest as follows: starting with corn, then rye, followed by perennial grasses, then oats, followed by millet and peas.

Conclusion. The role of soil-protective crop rotation in the ecological stability of the agricultural landscape in the zone of influence of Ryazan GRES is significant: in one growing season, three cuttings formed by grasses produced up to 22 t/ha of herbage, corn for early silage - 38 t/ha, winter rye - 3.7 t/ha, oats - 16 t/ha. In the case when agricultural products meet established quality standards, the use of a crop rotation system aimed at protecting contaminated soils contributes to the constant removal of heavy metals from the soil.

Key words: pollution, landscape farming system, heavy metals, soil-protective crop rotation.

Введение

Освоение систем земледелия на ландшафтной основе должно базироваться на создании почвозащитного комплекса с оптимальными параметрами, свойственными для почвенно-климатических условий данной территории [1]. Однако, вследствие разных причин, в частности, загрязнения агроландшафта токсикантами, наблюдается утрата почвенного плодородия, что является важной проблемой современного земледелия. Пахотные почвы Нечерноземья, как и других регионов, в результате недостаточного внесения минеральных и органических удобрений, имеют дефицит питательных веществ на общем фоне высоких антропогенных нагрузок [2]. На территории Рязанской области негативное влияние в экологическую ситуацию региона вносят сбросы и выбросы Рязанской ГРЭС, радиус влияния которой распространяется на 86,2 км. В зоне максимального влияния этого предприятия находятся сельскохозяйственные поля СПК-колхоза «Пронский». Использование специализированных растений для удаления тяжелых металлов из почвы представляет собой высокоэффективный природный подход к восстановлению и защите земель от химического загрязнения, ведущего к развитию деградиационных процессов и, в первую очередь, снижению плодородия. Цель исследований – изучение роли почвозащитного севооборота в экологической стабильности агроландшафта в зоне влияния Рязанской ГРЭС.

Материал и методы исследований

Наибольшее загрязнение установлено именно на сельскохозяйственных угодьях, расположенных вблизи г. Пронск в 15 км от Рязанской ГРЭС, чему способствуют доминирующие ветра и трансграничный перенос поллютантов

из-за высоты трубы ГРЭС (рисунок 1). Экологическая ситуация на территории Пронска относится к настораживающей.



Рисунок 1 – Вид на Рязанскую ГРЭС со стороны г.Пронска
Figure 1 – View of Ryazan GRES from the city of Pronsk

Характеристика погодных условий дана на основе расчетов гидротермических коэффициентов по Селянину (ГТК). Погодные условия отличались внутри вегетации, но суммарно были близки к среднеголетним величинам, хотя прослеживалась тенденция к засушливости. ГТК по Селянину равен 0,98. С целью установления сельскохозяйственных культур с большим выносом ТМ из почвы, на основе литературного обзора был проведен мелкоделяночный полевой опыт по Доспехову с рендомизированно размещенными вариантами в 4-х кратной повторности: 1 - многолетние травы без орошения и внесения удобрений; последующие варианты с орошением: 2 - многолетние травы; 3 – кукуруза; 4 – овес; 5 - рожь; 6 – горох; 7 – просо. Опыт закладывался на участке общей площадью 110 м², вносились научно-обоснованные дозы минеральных удобрений, рассчитанные на основе баланса и с учетом спецификации выращиваемых растений. Для поддержания водного баланса участка использовалась ирригационная установка «Роса-3» (рисунок 2), с помощью которой за вегетацию было произведено по 6 поливов на каждом варианте поливной нормой от 250 до 300 м³/га в зависимости от возделываемой культуры. Оросительная норма составляла в среднем в сухие и жаркие годы 1800 м³/га, в влажные и менее теплые до 1500 м³/га. Проведение контроля загрязненности почвы осуществлялось в соответствии с действующими стандартами. Отбор проб почвы осуществлялся дважды: перед началом эксперимента, а также после окончания вегетации каждой культуры.

Коэффициенты концентрации (K_c) и показатель суммарного загрязнения почв (Z) рассчитывались по формулам:

$$K_c = \frac{C_a}{C_v}, \quad (1)$$

где C_a - аномальная концентрация элементов в варианте; C_v - концентрация элемента на контроле.

$$Z = \sum_{i=1}^{i=n} K_c - (n - 1), \quad (2)$$

где Z - показатель суммарного превышения уровня элементов в пределах вариантов над фоном; K_c - коэффициент концентрации; n - число элементов с $K_c > 1$.

Из всех ТМ определялись концентрации C_u , Zn , Pb и Cd , которые для региона более значимы из-за их количества в почве в пограничном количестве [5]. Определение разных форм ТМ проводилось с использованием полуколичественного спектрального метода (ПКСА) на спектрофотометре в лаборатории ВНИИГиМ.

По результатам мелкоделяночного полевого опыта были отобраны культуры, которые вошли в составленный авторами почвозащитный севооборот и проведен производственный опыт.

Обработка результатов исследований проведена на компьютерной программе Statistika 10.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенная статистическая обработка результатов измерения влажности почвы нейтронным влагомером «ВПН Электроника» установила зависимость влажности почвы на вариантах исследования от влагообеспечения исследуемых лет (рисунок 3). Полученная зависимость имела вид:

$$Z = -1,5e^3 - 148,1x + 172,7y - 0,03x^2 + 1,5y^2. \quad (3)$$



Рисунок 2 – Дождевальная насадка «Роса-3»
Figure 2 – Sprinkler nozzle “Rosa-3”

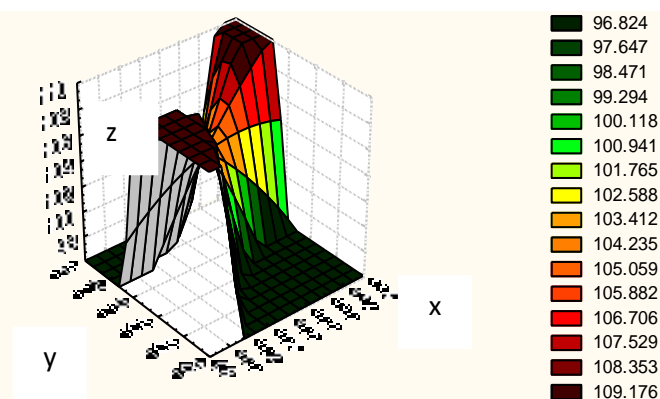


Рисунок 3 - Динамика влажности почвы в зависимости от влагообеспеченности лет, мм

Figure 3 - Dynamics of soil moisture depending on moisture availability of years, mm

Примечание: z – влажность почвы в сухой год при поливах, x - влажность почвы в нормальный по влагообеспеченности год в богарных условиях, y - влажность почвы в нормальный по влагообеспеченности год при поливах.

На рисунке 3 показаны засушливые периоды, характеризующиеся падением влажности почвы ниже предполивного порога, что требовало восполнения ее дефицита посредством орошения. Вода для поливов - из водохранилища. Вследствие сбросов в водохранилище токсикантов, в воде содержится определенное количество ТМ, вносящих вклад в суммарное загрязнение почвы, но основная масса их поступает с дождевой водой, на что обращал внимание еще в начале 2000-х годов С. Тобратов [5]. Четко прослеживается разница влажности почвы по годам исследований, в которые влагообеспеченность отличалась, но нами выявлены и другие воздействующие на этот показатель факторы, ведущие к лимитированию урожаев культур в севообороте, на что нами уже было указано в ранней работе [4].

Изменение водного и питательного режимов почвы способствует переводу ионов тяжелых металлов в растворимые формы, которые могут усваиваться растениями. То есть происходит косвенное влияние изменяющихся условий среды, таких как, рН, содержание гумуса и питательных веществ, наличие легкодоступной для растений влаги и пр. Полученные нами результаты исследований подтверждают вышесказанное (таблицы 1 и 2). На орошаемых вариантах получена информация, что уровень тяжелых металлов в исследуемых культурах — многолетней травосмеси, кукурузе и ржи — возрос в сравнении с контрольной группой, что, на наш взгляд, явилось преобразованием металлов в более мобильные состояния. Показатели суммарного загрязнения тяжелыми металлами на данных участках варьировали от 4,17 до 4,38. Исследования также выявили, что кадмий (Cd) проявлял большую способность к преобразованию в почве. Этот металл не выполняют конструктивных функций, и является в определенной концентрации ядом для растений. Процесс трансформации был наиболее заметен и связан с проведенными агрономическими действиями, к примеру, внесением минеральных удобрений, при которых подкисляется рН и растворимость соединений кадмия возрастает. На переход ТМ из труднодоступных комплексов в растворимые соединения влияет, в первую очередь, рН почвы, а помимо этого еще и деятельность почвенных микроорганизмов, выделения растений, состояние и количество гумуса, и другие факторы. Проведенные расчеты показали, что суммарное загрязнение почв подвижными формами ТМ в мелкоделянном полевом опыте выше на вариантах 2 ($Z=4,60$) и 3 ($Z=4,68$) с выращиванием многолетних трав и кукурузы при орошении.

Следует отметить синергетическое действие ТМ, к тому же они могут встраиваться в комплексы, заменяя биогенные элементы Pb и Cu, Cd и Zn вследствие схожих свойств. Формирующиеся специфические связи с компонентами почвенно-поглощающего комплекса (ППК) и гуминовыми кислотами могут изменять химико-физические свойства новых комплексов, вследствие чего они становятся более подвижными.

Убывающие ряды ТМ валовых форм, следующие:

1 – многолетние травы без полива

Орошаемые:

2 – многолетние травы $Cu > Cd > Zn > Pb$

3 - кукуруза $Zn > Cu > Pb > Cd$

4 – овес $Cu > Pb > Cd > Zn$

5 – озимая рожь $Cd > Pb > Cu > Zn$

6 – горох $Cd > Cu > Pb > Zn$

7 – просо $Cd > Pb = Zn > Cu$

Убывающие ряды ТМ подвижных форм следующие:

1 – многолетние травы без полива $Zn > Cu > Pb > Cd$

Орошаемые:

2 – многолетние травы $Cd > Cu > Pb > Zn$

3 - кукуруза $Cd > Cu > Pb > Zn$

4 – овес $Pb > Cd > Zn > Cu$

5 – озимая рожь $Cu > Cd > Pb > Zn$

6 – горох $Cd = Cu > Pb > Zn$

7 – просо $Cd = Cu > Pb > Zn$

Больше накапливают опытные растения Cd по сравнению с другими элементами, что объясняется его подвижностью в почве и усвояемостью растениями. Так, многолетние травы и кукуруза больше других культур выносят из почвы Cd ($K_c=11,25$ и $K_c=8,21$ соответственно), в вот, к примеру, рожь – Zn ($K_c=1,58$), овес - Pb ($K_c=1,82$). Вынос такого металла как Cu, например, на всех вариантах меньше, чем других ТМ. K_c Cu наибольший у овса (1,40) и озимой ржи (1,21). Повышенное поглощение растениями Cd, Pb, Zn обусловлено биофильностью Zn, высокой доступностью легкоподвижного Cd.

В таблице 3 приведены концентрации ТМ в продукции растениеводства. Проведенный корреляционно-регрессионный анализ по выявлению зависимости содержания в организме растений и почве ТМ вывел уравнения линейной регрессии:

$$Cu: \quad Y=11,63+7,5x, \quad R=0,78 \quad (4)$$

$$Cd: \quad Y=0,016+0,65x, \quad R=0,93 \quad (5)$$

$$Zn: \quad Y=23,57+1,97x, \quad R=0,78 \quad (6)$$

$$Pb: \quad Y=0,59+3,5x, \quad R=0,80 \quad (7)$$

По итогам опыта было выбрано три культуры с максимальным выносом из почвы ТМ: многолетние травы, кукуруза и озимая рожь.

На полях сельскохозяйственного производственного кооператива "Пронский" в Пронском районе эксперимент привел к созданию и последующему применению новой системы севооборота, направленной на снижение концентрации поллютантов в почве посредством выноса их растениями.

Система удобрений в производственном опыте включала применение минеральных удобрений с учетом культуры дозами: под многолетние травы $N_{50}P_{50}K_{50}$, кукурузу и озимую рожь $N_{90}P_{60}K_{60}$, овес $N_{80}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в. Весной под многолетние травы 1-3 г.п. вносились поверхностно азотные удобрения; а осенью – калийные и фосфорные; под кукурузу – те же удобрения, весной под культивацию - азотные, а осенью под зяблевую вспашку – калийные и фосфорные с одновременным добавлением 1/3 нормы азотных удобрений.

Убывающие ряды ТМ в продукции следующие:

1 – многолетние травы без полива $Zn > Cu > Pb > Cd$

Орошаемые:

2 – многолетние травы $Cd > Zn > Pb > Cu$

3 – кукуруза $Cd > Zn > Pb > Cu$

4 – овес $Pb > Zn > Cu > Cd$

5 – озимая рожь $Pb > Zn > Cu > Cd$

6 – горох $Cd > Cu > Pb > Zn$

7 – просо $Cd > Cu > Pb > Zn$

Перед проведением сева культуры, осенью после уборки предшественника, под зяблевую вспашку вносились фосфорные и калийные удобрения для подготовки почвы под овес. Затем, в ранней весне, озимую рожь подкармливали $2/3$ от нормы азотных удобрений. Для полива сельскохозяйственных культур в производственном опыте на площади 25 га применялась фронтальная дождевальная машина Western (рисунок 4) [3].

За одну вегетацию было подано в среднем $2300 \text{ м}^3/\text{га}$ воды.



Рисунок 4 – Дождевальная машина Western
(фото с сайта Интернет)
Figure 4 – Western sprinkler
(photo from the Internet site)

Влияние таких тяжелых металлов как Pb, Cd, Cu и Zn на концентрацию в конечной продукции растениеводства обусловлено их довольно интенсивным накоплением в окружающей среде и значительным содержанием подвижных форм в исследуемой почве.

По результатам нашего опыта разработана следующая схема почвозащитного травянопропашного 5-типольного севооборота:

1. Многолетние травы 1 года пользования (г.п.),
2. Многолетние травы 2 г.п.,
3. Многолетние травы 3 г.п.,
4. Кукуруза на ранний силос + озимая рожь на зеленый корм,
5. Овес.

При проведении производственного опыта было отмечено, что в условиях экологического неблагополучия вблизи РГРЭС применение системы защитного севооборота существенно изменило содержание химических веществ в почве,

уменьшая уровни токсичных тяжелых металлов и, способствуя лучшему росту растений. Это, в свою очередь, привело к увеличению объемов урожая. В рамках такой системы, кукуруза ранних сортов высевалась после использования смеси многолетних трав, состоящей из овсяницы луговой, тимофеевки луговой и клевера красного на протяжении трех лет. Уборка кукурузы проходила в июле, после чего в августе сеяли озимую рожь. На следующий год, весной, сеялся овес, а осенью возвращались к выращиванию многолетних трав. Весь этот цикл агрокультур предназначался для кормления животных, будь то в форме зеленой массы, сенажа или силоса.

В ходе исследований обнаружено, что при возделывании кукурузы в севообороте уровень Pb сократился на 11 мг от начального значения, а на третий год - еще на 6 мг от предыдущего; а при возделывании овса содержание Zn упало на 12,25 мг от изначального количества. Перед началом нашего эксперимента содержание Cu в почве превышало нормы, тогда как уровни Zn, Cd, Pb были в рамках допустимого. Однако, благодаря тщательному подбору сельскохозяйственных культур на этой почве и выносу химических элементов собранным урожаем, наблюдалось общее уменьшение количества изучаемых тяжелых металлов в почве.

Коэффициенты концентрации ТМ в почве следующие: $K_{Cu}=1,81$, $K_{Zn}=1,63$, $K_{Pb}=1,46$, $K_{Cd}=1,06$. Убывающий ряд ТМ можно записать в следующем виде: $Cu > Zn > Pb > Cd$. В слое почвы 25-50 см наблюдаются аналогичные изменения в содержании ТМ.

Водопотребление изменялось в зависимости от вида культуры: многолетние травы > овес > кукуруза. Применение почвозащитного севооборота привело к заметному повышению производительности посевов. В частности, по результатам сезона, кукуруза на силос достигла отметки в 38 тонн с гектара, овес - 16 т/га. Особенно впечатляет увеличение урожая многолетних трав, которые за три укоса обеспечили до 22 тонн зеленой массы на гектар. К тому же, озимая рожь дала урожай в 3,7 тонны с гектара. За пять лет исследований, как показали наши расчеты, продуктивность орошаемого гектара составила около 8000 корм.ед. зеленой массы. Урожайность выращиваемых культур по сравнению со средними данными по Рязанской области были значительно выше: многолетних трав выше средних данных почти на 122%, кукурузы - на 211%, озимой ржи – на 100%, овса – на 225%, что объясняется улучшением водного режима и агрохимических свойств почвы.

Концентрация ТМ в продукции растениеводства за одну ротацию отображена в таблице 1.

Таблица 1 - Концентрация ТМ в продукции растениеводства за одну ротацию, мг/ кг воздушно-сухого вещества

| Название культуры | Показатели | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Cu | Zn | Cd | Pb |
| Многолетние травы | 18,65±0,01 | 29,60±0,02 | 5,125±0,02 | 10,45±0,01 |
| Кукуруза | 18,45±0,02 | 18,58±0,03 | 6,085±0,02 | 7,85±0,02 |
| Озимая рожь | 19,68±0,02 | 32,10±0,02 | 4,562±0,01 | 8,52±0,04 |
| Овес | 21,15±0,01 | 21,05±0,01 | 4,058±0,01 | 7,48±0,02 |
| Допустимое содержание в растениях | 3-12 | 20-60 | 0,05-0,20 | 0,1-5,0 |
| Избыточная концентрация в фитомассе | 20-100 | 100-400 | 1-5 | 5 |
| Уровень фитотоксичности | 15-20 | 150-200 | 5-10 | 10-20 |

Из представленных в таблице 1 данных видно, что концентрация Cu и Cd чуть выше, а по Zn и Pb – соответствует нормальному содержанию в растениях. Избыток ТМ в растениях наблюдается по техногенным ТМ Cd и Pb. Уровень фитотоксичности не превышен. Например, Кс ТМ для многолетних трав (по сравнению с контролем) составили: $K_{сCu}=1,11$; $K_{сPb}=1,31$; $K_{сZn}=2,90$; $K_{сCd}=3,01$. $Z=8,33$. Ряды Кс в убывающем порядке: $Cd > Zn > Pb > Cu$.

Итак, наряду с выносом урожаем части ТМ, поступивших в агроландшафт, отмечено улучшение агрохимических свойств почвы, динамика которых была прослежена в слое 0-25 см. Так, за одну ротацию севооборота содержание P_2O_5 выросло на 0,80 мг/кг почвы, K_2O – на 2,10 мг/кг почвы при слабом подщелачивании почвенного раствора с $5,0 \pm 0,2$ до $5,3 \pm 0,1$. Водопотребление культур выросло более чем в 2 раза, что оказало влияние на их урожайность в севообороте.

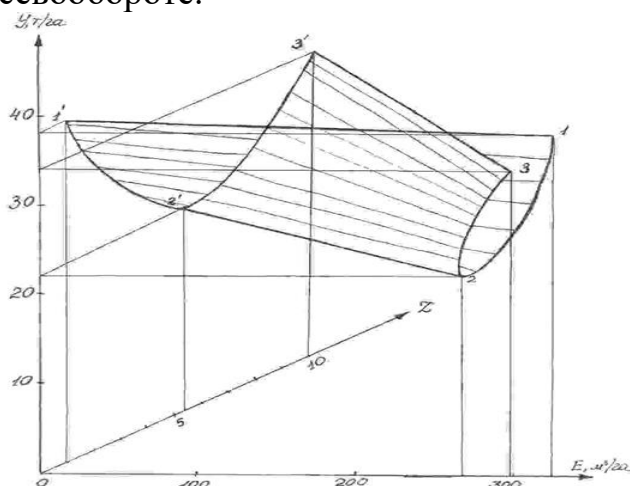


Рисунок 5 - Поверхность отклика по Доспехову между урожайностью (Y , т/га), водопотреблением (E , м³/га), и суммарным загрязнением почвы (Z)

При проведении статистической обработки результатов производственного опыта установлена зависимость между суммарным содержанием ТМ в почве, урожайность и водопотреблением растений (рисунок 5): при наличии в почве определенной концентрации ТМ, как, например, биогенных Cu Zn, которые необходимы растениям для нормального роста и развития, Y и E находились на определенном уровне.

Заключение

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно сделать вывод о значительном выносе сельскохозяйственными культурами в севообороте токсикантов из почвы. Концентрация Cu и Cd чуть выше, а по Zn и Pb – соответствует нормальному содержанию в растениях. Избыток ТМ в растениях наблюдается по техногенным ТМ Cd на 0,125-1,000 мг и Pb – почти в два раза. Уровень фитотоксичности не превышен. Учитывая вышеизложенное, следует своевременное проведение регулярного контроля концентрации приоритетных ТМ в почве и культурах севооборота.

Библиографический список

1. Алдошин, Н. В. Оптимизация микрорельефа почвы при возделывании мелкосеменных культур / Н.В. Алдошин, А. С. Васильев, В. В. Голубев, М. В. Никифоров, С. В. Эренкова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2023. - №3. – С. 77-85. DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.11.002
2. Богданчиков, И.Ю. Результаты полевого опыта использования соломы в качестве удобрения / И.Ю. Богданчиков, С.Н. Борычев, К.Н. Дрожжин, С.В. Митрофанов // Вестник РГАТУ, 2023. - №3. – С.85-92. URL: <https://publications.hse.ru/articles/869266641>
3. Евсеев, Е.Ю. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках / Е.Ю. Евсеев, А.И. Рязанцев, Г.К. Рембалович, А.О. Антипов, И.А. Мурог // Вестник РГАТУ, 2023. - №2. - С.119-125. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm26url%26keyno%3D0%26nosw%3D1>
4. Садовая, И.И. Долгосрочное прогнозирование урожайности овса и озимой ржи в севообороте на основе расчетов имитационной модели агроэкосистем / И. И. Садовая, О. А. Захарова, О. В. Черкасов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 80-87. DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.010
5. Heavymetalsinsystem "atmosphericair - water - soil - cropproducts" Zakharova O.A., Sadovaya I.I., Pashkang N.N., Mashkova E.I., Kucher D.E. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4. Сер. "IV International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Physical Processes, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection"" 2022. С. 012-025. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1702915388&tld=ru&lang=ru&name=sbor.pdf&text=Heavymetalsinsystem%20%22atmosphericair%20-%20water%20-%20soil%20%26keyno%3D0%26nosw%3D1>

References

1. Aldoshin, N. V. *Optimizaciya mikrorel'efa pochvy pri vozdelevanii melkosemennyyh kul'tur* / N.V. Aldoshin, A. S. Vasil'ev, V. V. Golubev, M. V. Nikiforov, S. V. Erenkova // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2023. - №3. – S. 77-85. DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.11.002

2. Bogdanchikov, I.Yu. *Rezultaty polevogo opyta ispol'zovaniya solomy v kachestve udobreniya* / I.Yu. Bogdanchikov, S.N. Borychev, K.N. Drozhzhin, S.V. Mitrofanov // *Vestnik RGATU*, 2023. - №3. – S.85-92. URL: <https://publications.hse.ru/articles/869266641>
3. Evseev, E.Yu. *Tekhnicheskie resheniya po povysheniyu proizvoditel'nosti mnogofunktional'noj mashiny krugovogo dejstviya nasklonovyh uchastkah* / E.Yu. Evseev, A.I. Ryazancev, G.K. Rembalovich, A.O. Antipov, I.A. Murog // *Vestnik RGATU*, 2023. - №2. - S.119-125. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm26url%%26keyno%3D0%26nosw%3D1>
4. Sadovaya, I.I. *Dolgosrochnoe prognozirovanie urozhajnosti ovsa i ozimoy rzhi v sevooborote na osnove raschetov imitacionnoj modeli agroekosistem* / I. I. Sadovaya, O. A. Zaharova, O. V. Cherkasov [i dr.] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2022. – T. 14. – № 2. – S. 80-87. DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.010
5. *Heavymetalsinsystem \ "atmosphericair - water - soil - cropproducts\ "* Zakharova O.A., Sadovaya I.I., Pashkang N.N., Mashkova E.I., Kucher D.E. *Vsbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4. Ser. \ "IV International Scientific and Practical Conference \ "Actual Problems of the Energy Complex: Physical Processes, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection\ "* 2022. S. 012-025. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1702915388&tld=ru&lang=ru&name=sbor.pdf&text=Heavymetalsinsystem%20%22atmosphericair%20-%20water%20-%20soil%20%26keyno%3D0%26nosw%3D1>