О разработке и апробации методики описания изменения форм и биодоступности меди и цинка при длительном применении удобрений

**Человек:** Интерпретируются результаты анализа почв длительного полевого опыта ВНИИА - стационар Шебанцево № 5 (последействие и модифицированный) на агрохимсвойства и микроэлементы (1992, 2004, 2011, 2014, 2016, 2017 гг.). Анализ растительных образцов производился на качество продукции и наличие Zn, Cu (выборка 2013, 2016, 2017 гг).Сроки отбора почвенных проб: последействие удобрений (1992, 2004), исходные (2011) при закладке СШ 5 М и образцы почвы, отобранные в течение опыта СШ 5 М (2014, 2016, 2017 гг.). В почве определены: 1) валовая форма Cu и Zn; 2) вытяжки с 1н HNO3 форм Cu и Zn; 3) вытяжки с ААБ, рН 4, 8 Cu и Zn (обменная); 4) вытяжки с 1% ЭДТА + ААБ, рН 4, 8. Рассчитаны: специфически-сорбированной формы Cu и Zn, комплексные формы Cu и Zn. В почве определены основные агрохимпоказатели. Анализ растительных проб - крахмал, белок (протеин), зольность, клетчатка, дисахариды, жир, влажность, содержание Zn и Сu и др. Лабораторные исследования проводились на базе ФБГУ Химцентр "Московский", Испытательного центра ФГБОУ ВО МСХА им. К.А. Тимирязева. Использованы программа Exсel пакета Microsoft Office 365 и пакет STATISTICA 13.3. Подход Т.М.Минкиной расширен на основе сопряженных данных по накоплению Zn, Cu растениями, учета урожайности и качества продукции на почвах с разным содержанием Cu и Zn. Показан постепенный переход форм Cu, Zn в подвижные, из них - в комплексные, доступные растениям.

**Key words:** последействие удобрений, тяжелые металлы, микроэлементы, качество растительной продукции, биодоступность, непрочносвязанные формы меди, вынос металлов растениями, непрочносвязанные формы цинка, длительный полевой опыт, агрохимические свойства почвы

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. 12 Кукуруза без удобрений. Spearman Rank Order Correlations. Н.д. Н.д. Н.д. 33,8.

**Key words part:** 0.5151515151515151

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. Для обработки результатов использованы программа Exсel пакета Microsoft Office 365 и пакет STATISTICA 13.3. Проводилось вычисление средних, ошибки среднего, дисперсии, стандартного отклонения, коэффициента вариации, наименьшей существенной разницы, относительного содержания форм Cu, Zn; построение гистограмм; корреляционный анализ - непараметрическая статистика; факторный анализ. В дальнейшем (2016 – 2017 гг.) тенденция к более высокому количеству подвижных фосфора и калия на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрения опыта СШ 5 (прежде всего, варианты 7, 5) сохраняется, а на контроле в опыте СШ 5 количество подвижного фосфора продолжает падать (соответственно подвижный фосфор на поле 1 в 2016 г. – 59 мг/кг, в 2017 г. на поле 2 – 66 мг/кг). Spearman Rank Order Correlations. Н.д. Н.д. Н.д. 33,80.

**Key words part:** 0.5454545454545454

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. Н.д. Н.д. Н.д. 26,1. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. Н.д. Н.д. Н.д. 33,80. Н.д. Н.д. Н.д. 2017. Н.д. Н.д. Н.д. 26,10. Н.д. Н.д. Н.д. 2016.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** Spearman Rank Order Correlations. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. (Приложение, таблицы 17, 18). Н.д. Н.д. Н.д. 2017. Spearman Rank Order Correlations. Spearman Rank Order Correlations. Spearman Rank Order Correlations.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** Предмет исследования: изменение показателей образцов почвы и растительной продукции при последействии и с возобновлением внесения удобрений с точки зрения накопления микроэлементов (Cu и Zn); изменение содержания, соотношения форм и биодоступности Cu и Zn в почве на фоне изменения агрохимических показателей почвы при последействии высоких доз органо-минеральной системы удобрения и при возобновлении внесения минеральных удобрений; влияние содержания Cu и Zn в почве и растительной продукции на качество сельхозпродукции (зерно пшеницы озимой и сено многолетних трав); зависимость выноса Cu и Zn растениями от урожайности культуры на примере пшеницы озимой и многолетних трав. Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. 8 Севооборот без удобрений. Анализ форм меди и цинка в почве проводился по следующим методикам: подвижные формы цинка - ГОСТ Р 50686-94, подвижные формы меди - ГОСТ Р 50684-94, валовые формы меди и цинка определялись по ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02. Установлено, что за пределы нормального распределения для образцов почвы выходят значения pH, гумуса, P2O5, K2O, вытяжки Cu с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Cu, комплексной формы Cu, валовой формы Zn, вытяжки Zn с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Zn, комплексной формы Zn. Предлагаемый подход позволил более точно описать взаимосвязь между количеством и типом подвижных форм Cu, Zn в почвах при внесении удобрений, с учетом последействия, выявить влияния микроэлементов на качество растительной продукции. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. 100 т/га навоза + 3NPK. При сравнении показателей подвижности форм Cu (таблица 9) и Zn на вариантах 1, 7, 9 (таблица 7) при изучении последействия, а также в 1992, 2004, 2011, 2016 гг. (поле 1), 2017г. (поле 2) (таблицы 11 – 12) и с интенсивной системой внесения удобрений в опыте СШ 5М (N90 P90 K90) на поле 1 и 2 в 2016 и 2017 гг. (таблица 10) показано, что внесение минеральных удобрений на вариантах с изучением последействия не изменяет соотношений внутри группы непрочно связанных подвижных форм Cu и Zn. Содержание Zn (мг/кг) и дисахариды (%) в зерне пшеницы озимой (2016-2017 гг.). Подвижность фосфора снижается в последействии на две градации, а калия – на одну градацию обеспеченности, рост данных показателей отмечен при возобновлении применения удобрений с 2011 г. Содержание гумуса более стабильно, отражая как достигнутый во времени проведения опыта уровень окультуренности, так и влияние культур севооборота в последействии удобрений. Таблица 12 - Качество многолетних трав и зерновых культур 2013, 2016, 2017 гг., поле 1 – 2. стандартное отклонение.

**Key words part:** 0.7878787878787878

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** 8 Севооборот без удобрений. Анализ форм меди и цинка в почве проводился по следующим методикам: подвижные формы цинка - ГОСТ Р 50686-94, подвижные формы меди - ГОСТ Р 50684-94, валовые формы меди и цинка определялись по ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02. Установлено, что за пределы нормального распределения для образцов почвы выходят значения pH, гумуса, P2O5, K2O, вытяжки Cu с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Cu, комплексной формы Cu, валовой формы Zn, вытяжки Zn с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Zn, комплексной формы Zn. Предлагаемый подход позволил более точно описать взаимосвязь между количеством и типом подвижных форм Cu, Zn в почвах при внесении удобрений, с учетом последействия, выявить влияния микроэлементов на качество растительной продукции. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Н.д. Н.д. Н.д. 2011. 100 т/га навоза + 3NPK. При сравнении показателей подвижности форм Cu (таблица 9) и Zn на вариантах 1, 7, 9 (таблица 7) при изучении последействия, а также в 1992, 2004, 2011, 2016 гг. (поле 1), 2017г. (поле 2) (таблицы 11 – 12) и с интенсивной системой внесения удобрений в опыте СШ 5М (N90 P90 K90) на поле 1 и 2 в 2016 и 2017 гг. (таблица 10) показано, что внесение минеральных удобрений на вариантах с изучением последействия не изменяет соотношений внутри группы непрочно связанных подвижных форм Cu и Zn. Содержание Zn (мг/кг) и дисахариды (%) в зерне пшеницы озимой (2016-2017 гг.). Подвижность фосфора снижается в последействии на две градации, а калия – на одну градацию обеспеченности, рост данных показателей отмечен при возобновлении применения удобрений с 2011 г. Содержание гумуса более стабильно, отражая как достигнутый во времени проведения опыта уровень окультуренности, так и влияние культур севооборота в последействии удобрений. Таблица 12 - Качество многолетних трав и зерновых культур 2013, 2016, 2017 гг., поле 1 – 2. стандартное отклонение.

**Key words part:** 0.6363636363636364

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** № вариантов опыта СШ 5М в новом опыте по повторностям. Для остальных – выборочно – в связи с малым весом образца. Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. Н.д. Н.д. Н.д. 26,1. Однако полученные различия в данных не выходят, как правило, за пределы НСР и не являются статистически значимыми, прослеживаясь только в виде тенденции. N. Spearman R. N. Spearman R. 1992 & 2004. Н.д. Н.д. Н.д. 33,80. Н.д. Н.д. Н.д. 2017.

**Key words part:** 0.30303030303030304

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** 4 Севооборот без удобрений. Показатели качества растительной продукции определялись на инфракрасном спектрометре UNITY SpectraStar XL., содержание крахмала по ГОСТ 10845-98, сырой протеин и белковый азот по ГОСТ 13496.4-93, зольность по ГОСТ 10847-74, азот, фосфор и калий, а также показатели по молочной и щавелевой кислотам (для многолетних трав), а также жир экстрагированный, жир гидролизованный, влажность продукции согласно техпаспорту прибора. Предлагаемый подход позволил более точно описать взаимосвязь между количеством и типом подвижных форм Cu, Zn в почвах при внесении удобрений, с учетом последействия, выявить влияния микроэлементов на качество растительной продукции. Наибольшее содержание гумуса наблюдается при последействии высоких доз навоза (как правило, 100 т/га) в комплексе с внесением хотя бы одной дозы NPK, прежде всего на тех вариантах, где в возобновленном опыте СШ 5М использовалась интенсивная система удобрений и имелся также актуальный фон внесения удобрений N90 P90 K90. Spearman Rank Order Correlations. Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. 100 т/га навоза + 3NPK. Сводная таблица результатов анализа качества продукции (Приложение, таблица 12) и корреляционная матрица по сырью в связи с агрохимическими показателями почвы, Zn, Cu в растениях и урожайностью (Приложение, таблица 13) приведены в Приложении.

**Key words part:** 0.6363636363636364

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Обычно приводятся данные по кислоторастворимым (вытяжка 1н HCl или 1н HNO3) и (или) подвижным (вытяжка ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8) формам ТМ, иногда их валовое содержание. 10 Пар с удобрениями. Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. Приведем также и аналогичные относительных величины для Zn на вариантах последействия с интенсивной системой удобрений (таблица 10), а также все относительные данные по Zn, Cu на 3-х вариантах в динамике (таблицы 11, 12) при изучении последействия и в СШ 5 М. Таблица 9 - Трансформация соединений меди при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве. Целевая аудитория: Исследование может быть использовано в почвоведении, биогеохимии, сельском хозяйстве, растениеводстве, в том числе для уточнения механизмом последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения на накопление и трансформацию форм и соединений Cu, Zn в почве с течением времени, при нормировании внесения микроэлементов с целью повышения качества продукции.

**Key words part:** 0.5757575757575758

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Таблица 1 - Схема полевого опыта 2011 - 2018 гг. Научная значимость работы. Наименьшее содержание органического вещества приходится на годы изучения последействия. Подвижные формы меди и цинка. Доза удобрения (Zn).

**Key words part:** 0.5151515151515151

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** 12 Кукуруза без удобрений. 13 Кукуруза с удобрениями. 14 Кукуруза без удобрений. 15 Кукуруза с удобрениями. 16 Кукуруза без удобрений.

**Key words part:** 0.30303030303030304

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** 17. 5 Севооборот без удобрений. В почвенных образцах также определены основные агрохимические показатели: рН, содержание органического вещества, подвижный фосфор (Р2О5) и калий (К2О), гидролитическая кислотность и др. Анализ основных агрохимических показателей почвы проводился по следующим методикам:рН солевой вытяжки - ГОСТ 26483-85, содержание органического вещества - ГОСТ 26213-91, гидролитическая кислотность -ГОСТ 26212-91, уровни Р2О5, К2О - ГОСТ Р 54650-2011. Значения P2O5 и K2O в выборке варьируют, по классификации Кирсанова, Чирикова, от среднего до высокого; pH – от близкого к нейтральному до нейтрального; Hr – в пределах самой низкой по показателям 6-й группы (менее 2,0); гумус – от 1-й до 2-й группы по Тюрину [23; 24, стр. 340].

**Key words part:** 0.3636363636363637

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** 2. Изучение влияния действия и последействия удобрений на вынос сельскохозяйственными культурами Zn и Cu. Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. И.В.Тованчев, зав. отд. Неподвижные формы Cu, Zn рассчитаны как разность между показателями валовой формы Cu, Zn и суммарными данными по Cu, Zn обменным (аналогично вытяжке Cu, Zn с ААБ, при pH 4, 8), комплексным (аналогично разнице вытяжки (1 % ЭДТА+ ААБ) и вытяжки с ААБ) и специфически связанными Cu, Zn (разница между вытяжкой Cu, Zn 1н HNO3 с вытяжкой ААБ). 100 т/га навоза + 3NPK. Зависимость урожайности культуры (зерно пшеницы 2016 – 2017 гг., ц/га) в пересчете на сухое вещество от количества подвижного фосфора (Р2O5) в почве (мг/кг). Таблица 9 - Соотношение подвижных форм Cu в группе непрочно связанных соединений ТМ, %.

**Key words part:** 0.5454545454545454

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. Н.д. Н.д. Н.д. 26,1. – 11 (Приложение, таблица 14). Н.д. Н.д. Н.д. 33,80. 2013, 2016 гг., поле 1 – 2.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Степень разработанности проблемы. Научная значимость работы. Основные результаты отражены в таблице 2. стандартное отклонение. Образцы растительной продукции.

**Key words part:** 0.3333333333333333

=================================

**Simple\_PageRank/:** Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. Расчёт данных о специфически сорбированных и комплексных (связанных с органическим веществом) подвижных непрочно связанных форма Cu, Zn проведён методом согласно методике, предложенной Т.М. Минкиной [18, 19, 22]. Наибольшее содержание гумуса наблюдается при последействии высоких доз навоза (как правило, 100 т/га) в комплексе с внесением хотя бы одной дозы NPK, прежде всего на тех вариантах, где в возобновленном опыте СШ 5М использовалась интенсивная система удобрений и имелся также актуальный фон внесения удобрений N90 P90 K90. Показательно, что низкое содержание органического вещества характерно и для возобновленного опыта (при экстенсивной системе) даже на фоне последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения в СШ 5 (например, 50т/га + 3 NPK). Статистический эксперимент с аналогичной выборкой данных по подвижному калию в почве вариантов 1, 7, 9 за годы 1992, 2004, 2011, 2016 (без удобрения), 2016 (с удобрением), 2017 (без удобрения), 2017 (с удобрением), чтобы установить статистическую близость или различия между показателями за разные годы (таблица 3 Приложения) показывает, что большинство показателей за все годы коррелирует друг с другом с коэффициентом корреляции по Спирмену r = 1, 0. Рассмотрим динамику изменения содержания подвижных форм меди и цинка в почве по годам на примере 3-х наиболее контрастных по вносимым в опыте СШ 5 дозам удобрений (варианты 1, 7, 9).

**Key words part:** 0.6060606060606061

=================================

**TextRank/:** Цель исследования: оценить последовательное накопление валовых и подвижных форм Zn и Cu в почве и различие в их поступлении в растения на основе длительного полевого опыта; установить закономерности изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы [1] с учетом последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения и оценить влияние данных условий на качество продукции (на материале архива образцов "Отдела длительных опытов ВНИИА имени Д.Н.Прянишникова"). Предмет исследования: изменение показателей образцов почвы и растительной продукции при последействии и с возобновлением внесения удобрений с точки зрения накопления микроэлементов (Cu и Zn); изменение содержания, соотношения форм и биодоступности Cu и Zn в почве на фоне изменения агрохимических показателей почвы при последействии высоких доз органо-минеральной системы удобрения и при возобновлении внесения минеральных удобрений; влияние содержания Cu и Zn в почве и растительной продукции на качество сельхозпродукции (зерно пшеницы озимой и сено многолетних трав); зависимость выноса Cu и Zn растениями от урожайности культуры на примере пшеницы озимой и многолетних трав. Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения. При сравнении показателей подвижности форм Cu (таблица 9) и Zn на вариантах 1, 7, 9 (таблица 7) при изучении последействия, а также в 1992, 2004, 2011, 2016 гг. (поле 1), 2017г. (поле 2) (таблицы 11 – 12) и с интенсивной системой внесения удобрений в опыте СШ 5М (N90 P90 K90) на поле 1 и 2 в 2016 и 2017 гг. (таблица 10) показано, что внесение минеральных удобрений на вариантах с изучением последействия не изменяет соотношений внутри группы непрочно связанных подвижных форм Cu и Zn. Приведем также и аналогичные относительных величины для Zn на вариантах последействия с интенсивной системой удобрений (таблица 10), а также все относительные данные по Zn, Cu на 3-х вариантах в динамике (таблицы 11, 12) при изучении последействия и в СШ 5 М. Таблица 9 - Трансформация соединений меди при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве. Наблюдения над динамикой изменения соотношения непрочно связанных соединений и прочно связанных с почвой форм Zn, а также над относительными цифрами обменной, комплексной и специфически сорбированной формы Zn в составе непрочно связанных подвижных соединений Zn в вариантах 2, 5, 6 обнаруживают ту же тенденцию, что и в вариантах 1, 7, 9 (Приложение, таблица 8), а именно: в составе валовой формы Zn количество непрочно связанных с почвой форм Zn растет, при этом в группе непрочно связанных соединений Zn этот рост происходит за счет увеличения доли комплексной формы Zn, на фоне высокого относительного содержания специфически сорбированной формы Zn и при снижении доли обменной формы Zn.

**Key words part:** 0.8181818181818182

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** Методы определения меди";. Так, и в 2004 г. (соответственно подвижный фосфор – 181 мг/кг, калий – 177 мг/кг при соответствующих средних значениях 126,7 и 110,5 мг/кг), и в 2011 г. (соответственно подвижный фосфор – 182 мг/кг, калий – 174 мг/кг при соответствующих средних значениях 125,3 и 133,0 мг/кг) наиболее высокие показатели подвижных фосфора и калия сохраняются на варианте с дозой внесения удобрений в опыте СШ 5 100 т/га навоза + 3 NPK. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Подвижные формы меди и цинка. Н.д. Н.д. Н.д. 33,8. 100 т/га навоза + 3NPK. – 11 (Приложение, таблица 14). Пшеницу второго класса по содержанию белка (Приложение, таблица 14) получали на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрений, в первую очередь 7-ом (100 т/га навоза + 3 NPK) без актуального фона, а также 9 (100 т/га навоза) при внесении минеральных удобрений (N90 P90 K90). Вынос Cu и Zn при росте урожайности пшеницы озимой (2016-2017 гг.). Динамика изменений прочно сорбированной, непрочно сорбированной, обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм меди на вариантах 1, 7, 9 в 1992-2017 гг., %. Изменение соотношения непрочно связанных форм Zn по годам в динамике опыта (вариант 9, %). 2 класс, белок > 13, 5%.

**Key words part:** 0.5151515151515151

=================================

**Текст:** Для наблюдения над протеканием процессов трансформации форм Cu и Zn под влиянием окультуривания почв и длительного внесения различных доз удобрений продуктивно использовать данные, получаемые в длительных полевых опытах. Материалы образцов Геосети опытов с удобрениями, созданной более 60 лет назад по инициативе Д.Н. Прянишникова, представляют наиболее ценный объект для изучения, обеспечивая возможность анализа архивных образцов почвы и растений, отобранных при проведении опыта.. Цель исследования: оценить последовательное накопление валовых и подвижных форм Zn и Cu в почве и различие в их поступлении в растения на основе длительного полевого опыта; установить закономерности изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы [1] с учетом последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения и оценить влияние данных условий на качество продукции (на материале архива образцов «Отдела длительных опытов ВНИИА имени Д.Н.Прянишникова»).. Задачи исследования:. 1. Выявление особенностей изменения состояния различных форм Сu и Zn в почве под влиянием длительного систематического применения минеральных и органических удобрений и их последействия.. 2. Изучение влияния действия и последействия удобрений на вынос сельскохозяйственными культурами Zn и Cu.. 3. Установление взаимосвязи между выносом Zn и Cu, урожайностью и качеством продукции при интенсивной и экстенсивной системах удобрения и различных уровнях окультуренности.. Объект исследования: выявляемые с помощью лабораторных методов анализа и расчетным путем агрохимические показатели и содержание Cu и Zn в избранных архивных почвенных пробах отдела длительных полевых опытов ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова, качество продукции и содержанием Cu и Zn в архивных растительных пробах отдела длительных полевых опытов ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова (зерно пшеницы озимой и ячменя, сено многолетних трав), вынос Cu и Zn растениями, урожайность указанной растительной продукции; весь коплекс вышеуказанных показателей для сопряженных проб почвы и зерна пшеницы озимой (2016, 2017 гг., опыт Стационар Шебанцево № 5 модифицированный).. Предмет исследования: изменение показателей образцов почвы и растительной продукции при последействии и с возобновлением внесения удобрений с точки зрения накопления микроэлементов (Cu и Zn); изменение содержания, соотношения форм и биодоступности Cu и Zn в почве на фоне изменения агрохимических показателей почвы при последействии высоких доз органо-минеральной системы удобрения и при возобновлении внесения минеральных удобрений; влияние содержания Cu и Zn в почве и растительной продукции на качество сельхозпродукции (зерно пшеницы озимой и сено многолетних трав); зависимость выноса Cu и Zn растениями от урожайности культуры на примере пшеницы озимой и многолетних трав.. Степень разработанности проблемы. При большом количестве проанализированных нами исследований, в том числе - названных в библиографии к данной работе, рассматриващих специфику процессов изменения биодоступности и фракционного состава Zn и Cu в почве все ещё мало изученным остается вопрос влияния на их динамику органической и органо-минеральной систем удобрения и феномена последействия [2 - 14]. Е.А.Карпова, В.Г.Минеев, оценивая состояние современных исследований данной проблемы, отмечают: «Изучению влияния сельскохозяйственного производства на отдельные показатели состояния ТМ в почвах агроландшафтов посвящено огромное число исследований. Обычно приводятся данные по кислоторастворимым (вытяжка 1н HCl или 1н HNO3) и (или) подвижным (вытяжка ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8) формам ТМ, иногда их валовое содержание. Но практически отсутствуют работы, в которых оценивалось бы воздействие данного фактора по всему комплексу показателей, характеризующих состояние ТM в почве» [15, с. 9-10]. Аналогичные исследования, но с более полным учетом фракций Cu, Zn и большого списка тяжелых металлов на материале длительных полевых опытов и на находящихся в использовании сельскохозяйственных угодьях проводятся за рубежом с практическими целями агромониторинга [16, 17]. Т.М.Минкиной и др. [18, 19] был разработан новый методический подход исследования различных форм тяжелых металлов в почвах и их трансформации во времени, близкий и более всеобъемлющий по методикам учета соединений Cu, Zn подход на материале арктических почв был реализован Л.Ф. Поповой [20]. Растительные образцы в данных исследованиях не анализировалось, дополнение в виед анализа сопряженных растительных и почвенных проб в длительном опыте проведено с учетом указанных выше методик нами впервые.. Практической востребованностью исследования является оценка потенциала и удовлетворение потребности растений в микроэлементах полей, на которых планируется изменение севооборотов и земель, выбывших из сельхозоборота. Предлагаемое исследование, вслед за разработавшими подобный подход исследования форм присутствия ТМ в почвах в статике и трансформации их в динамике коллегами [18, 19], дает возможность проследить изменения не только агрохимических свойств почв, но и соотношения форм Cu и Zn в почвах при изучении последействия внесения высоких доз органических удобрений и органо-минеральной системы удобрения за 25 лет (1992-2017 гг.), в части неподвижных и подвижных (специфически сорбированной, комплексной (связанной с органическим веществом), обменной) форм, а также в части перехода их в растения.. Материал исследования – образцы почвы и растительной продукции последействия стационарного длительного опыта СШ 5 и модифицированного опыта СШ 5М (Стационар Шебанцево № 5 и Стационар Шебанцево № 5 модифицированный) Центральной опытной станции (ныне Отдела длительных опытов) ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова, Домодедовский район, Московская область. Опыт СШ 5 проводился в 1964-1992 гг. с внесением возрастающих доз минеральных, органических удобрений, органо-минеральной системы удобрений в течение 7 ротаций (28 лет), последействие удобрений с 1992 по 2011 гг.18 лет), с 2011 г. проводится модифицированный опыт СШ 5М с экстенсивной/ интенсивной моделью внесения минеральных удобрений на расщепленных вариантах (6 лет). Рассматриваемые образцы почвы относятся к дерново-подзолистой тяжелосуглинистой [1], агродерново-подзолистой [21], в дальнейшем в работе будет использовано первое наименование согласно классификации 1977 г. В настоящей работе анализировались варианты последействия опыта СШ 5: 1 (контроль), 2 (навоз 50 т/га), 5 (навоз 50 т/га + 3 NPK), 6 (навоз 100 т/га + 1 NPK), 7 (навоз 100 т/га + 3 NPK), 9 (навоз 100 т/га). Севооборот опыта СШ 5М с 2011 года на вариантах 1- 9 составляли: озимая пшеница - многолетние травы (3г.) - озимая пшеница – ячмень. Каждое из трех полей (в настоящей работе изучались варианты 1 - 9 полей 1 - 2) в опыте СШ 5М, как и ранее, состоит из двух фрагментов – органо-минеральный фрагмент (1– 9-й вариант, севооборот указан выше) и минеральный фрагмент (варианты 10 и далее, на нем возделывалась бессменная кукуруза). Приведем полную универсальную схему расположения вариантов каждого из полей заложенного в 2011 г. опыта СШ 5М по повторностям (таблица 1).. Таблица 1 - Схема полевого опыта 2011 - 2018 гг. ЦОС ВНИУА (Отдел длительных полевых опытов ФГБНИУ ВНИИА). Части вариантов. № вариантов опыта СШ 5М в новом опыте по повторностям. Органо-минеральная часть поля с четырехлетним севооборотом. . Минеральная часть поля с бессменной кукурузой. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. . . . з. а. щ. и. т. к. а. . 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 1 Пар без удобрений. 9 Пар без удобрений. 2 Пар с удобрениями. 10 Пар с удобрениями. 5. 6. 7. 8. 9. 1. 2. 3. 4. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 10. 11. 12. 13. 3 Севооборот с удобрениями. 11 Кукуруза с удобрениями. 4 Севооборот без удобрений. 12 Кукуруза без удобрений. 9. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 18. 19. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 5 Севооборот без удобрений. 13 Кукуруза с удобрениями. 6 Севооборот с удобрениями. 14 Кукуруза без удобрений. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 1. 2. 3. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 10. 11. 12. 7 Севооборот с удобрениями. 15 Кукуруза с удобрениями. 8 Севооборот без удобрений. 16 Кукуруза без удобрений. Каждый вариант был разделен на два подварианта (метод расщеплённых делянок): с удобрениями (интенсивная модель земледелия), без удобрений (экстенсивная модель земледелия). Проводилось внесение под посев и две подкормки весной в конце апреля и в мае в случае пшеницы озимой, внесение под посев в сулчае ячменя, внесение под посев и по второму укосу для многолетних трав в суммарной дозе N90 P 90 K 90. При экстенсивной модели земледелия на соответствующих частях вариантов внесение удобрение не производилось. Почву опыта известковали: в I ротации – 2 т/га, во II ротации – 8 т/га, после III ротации – 5 т/га, после V ротации (1984 г.) – 4 т/га и в 2011 г. при возобновлении-закладке СШ 5М – 3 т/га.. В Приложении к исследованию приводятся необходимые таблицы и рисунки с данными по материалам отдела длительных опытов ВНИИА (образцы почвы и растительного сырья предоставлены вед.н.с. А.А.Коваленко и ст.н.с. Т.М.Забугиной, отдел длительных полевых опытов ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова) и по результатам анализа почвенных и растительных образцов в ФГБУ Химцентр Московский (проведены при детельном участии и курации со стороны сотрудников - зав. отд. И.В.Тованчев, зав. отд. Л.М.Бушина, гл.агрохимик А. А. Лапушкина, вед. агрохимики А.О.Вигилянская, Н.А. Орлова), а также в испытательном центре РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева (при содействии к.с.х.наук, доцента О.Е.Ефимова), отобранные, подготовленные в виде навесок, измельченных и просеянных навесок почвы, размолов растительного сырья (зерно), обработанные с помощью инструментальных методов (инфракрасная спектрофотометрия и др.) и аппарата математической статистики и наглядно представленные Л.Б.Кузиной в процессе подготовки исследования на кафедре агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова в 2018 г. в процессе выполнения магистерской диссертации по направлению подготовки "Почвоведение" и специализации "Агрохимия".. Общую координацию взаимодействия коллектива участников предлагаемого исследования, а также правку текста в качестве научного редактора осуществляла Н.В.Кузина.. Нормативная документация по методикам анализа (ГОСТ и экспирементальным), как для инструментальных, так и для расчетных исследований:. 1) рН солевой вытяжки определялось по ГОСТ 26483-85 «Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО;. 2) содержание органического вещества определялось по ГОСТ 26213-91 «Методы определение органического вещества почвы (по Тюрину)»;. 3) гидролитическая кислотность определялось по ГОСТ 26212-91 «Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО»;. 4) уровни подвижного фосфора и калия определялись по ГОСТ Р 54650-2011 «Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО»;. анализ форм меди и цинка в почве:. 5) подвижные формы цинка определялись по ГОСТ Р 50686-94 «Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО»;. 6) подвижные формы меди определялись по ГОСТ Р 50684-94 «Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО»;. 7) валовые формы меди и цинка определялись по ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02 «Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии»;. 8) приготовление вытяжки Zn, Zn с 1% ЭДТА и ААБ, pH 4, 8 проводилось согласно общепринятым агрохимическим методам [23].. Показатели качества растительной продукции определялись на инфракрасном спектрометре, с учетом следующих ГОСТ:. 1) cодержание крахмала - ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала»;. 2) сырой протеин и белковый азот - ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина»;. 3) зольность - ГОСТ 10847-74 «Зерно. Методы определения зольности»;. 4) азот, фосфор и калий, а также показатели по молочной и щавелевой кислотам (для многолетних трав), а также жир экстрагированный, жир гидролизованный, влажность продукции для всей растительной продукции определялись на ИК-спектрометре согласно техпаспорту прибора.. Содержание Cu, Zn в растительной продукции определялось методом пламенной фотометрии с учетом ГОСТ:. 1) валовые формы меди и цинка - ГОСТ 30692-2000 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия»;. 2) содержание подвижных форм меди - ГОСТ 27995-88 «Корма растительные. Методы определения меди»;. 3) содержание подвижных форм цинка - ГОСТ 27996-88 «Корма растительные. Методы определения цинка».. Дизайн исследования :. 1. Анализ почвенных образцов на агрохимические свойства и микроэлементы (выборка за 25 лет: 1992, 2004, 2011, 2014, 2016, 2017 гг., изучение последействия с 1992 г., изучение проб с внесением и без внесения удобрений в длительном полевом опыте СШ 5М; всего – 42 образца; из них с полной обработкой данных - 34).. 2. Анализ растительных образцов на качество продукции и наличие Zn, Cu (выборка за 5 лет: 2013, 2016, 2017 гг., пшеница озимая, многолетние травы, ячмень, всего – 49 образцов, с учетом повторностей – более 100, из них сопряженных с почвенными пробами - 20).. Сроки отбора почвенных проб: последействие удобрений (1992, 2004), исходные (2011) при закладке СШ 5 М и образцы почвы, отобранные в течение опыта СШ 5 М (2014, 2016, 2017 гг.) с полей 1 и 2. Сравнивались варианты опыта с интенсивной (N90 P90 K90) и экстенсивной системой земледелия (без удобрений).. В почвенных образцах определены содержания: 1) валовой формы Cu и Zn (окислительный обжиге проб с последующим разложением остатка смесью кислот HF-HNО3, HF-HCl, HClO4-HF, НNO3-НСl); 2) вытяжки с 1н HNO3 форм Cu и Zn; 3) вытяжки с ААБ, рН 4, 8 Cu и Zn (обменная); 4) вытяжки с 1% ЭДТА + ААБ, рН 4, 8. Рассчитаны: содержание специфически-сорбированной формы Cu и Zn (разница между вытяжкой 1н HNO3 и вытяжкой с ААБ рН 4,8), форм Cu и Zn, связанных с органическим веществом (разница вытяжек с 1% ЭДТА+ААБ и вытяжки с ААБ, pH 4). В почвенных образцах также определены основные агрохимические показатели: рН, содержание органического вещества, подвижный фосфор (Р2О5) и калий (К2О), гидролитическая кислотность и др. Полный анализ почвенных образцов по 17 показателям был выполнен для 34 образцов. Для остальных – выборочно – в связи с малым весом образца.. Сопряженный отбор почвенных и растительных проб (20 образцов) производился в конце вегетации (по 4 образца с/у, б/у с 4-х делянок, 2 повторности (поле 1) в 2016 г., по 6 образцов с/у, б/у с 6-ти делянок, 2 повторности в 2017 г.).. Анализ растительных образцов производился на крахмал, белок (протеин), зольность, клетчатку, сахариды (дисахариды: сахароза, мальтоза), жир (гидролизованный и экстрагированный), влажность, содержание Zn и Сu. Для многолетних трав – также на Р2О5, К2О, N, щавелевую, молочную кислоты и др. Анализ основных агрохимических показателей почвы проводился по следующим методикам:рН солевой вытяжки - ГОСТ 26483-85, содержание органического вещества - ГОСТ 26213-91, гидролитическая кислотность -ГОСТ 26212-91, уровни Р2О5, К2О - ГОСТ Р 54650-2011. Анализ форм меди и цинка в почве проводился по следующим методикам: подвижные формы цинка - ГОСТ Р 50686-94, подвижные формы меди - ГОСТ Р 50684-94, валовые формы меди и цинка определялись по ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02. Приготовление вытяжки Zn, Zn с 1% ЭДТА и ААБ, pH 4,8 проводилось согласно общепринятым агрохимическим методам [23]. Расчёт данных о специфически сорбированных и комплексных (связанных с органическим веществом) подвижных непрочно связанных форма Cu, Zn проведён методом согласно методике, предложенной Т.М. Минкиной [18, 19, 22].. Показатели качества растительной продукции определялись на инфракрасном спектрометре UNITY SpectraStar XL., содержание крахмала по ГОСТ 10845-98, сырой протеин и белковый азот по ГОСТ 13496.4-93, зольность по ГОСТ 10847-74, азот, фосфор и калий, а также показатели по молочной и щавелевой кислотам (для многолетних трав), а также жир экстрагированный, жир гидролизованный, влажность продукции согласно техпаспорту прибора. Содержание Cu , Zn в растительной продукции определялось методом пламенной фотометрии по ГОСТ 30692-2000, ГОСТ 27995-88, ГОСТ 27996-88.. Исследование вытяжек почвы на содержание разных форм меди и цинка проводилось при помощи атомно-абсорбционного метода (Двухлучевой атомно-абсорбционный спектрометр SHIMADZU EUROPA АА-7000; АСС Квант 2 АТ). Исследование содержание меди и цинка в растительных пробах – методом пламенной фотоспектрометрии. Анализ агрохимических свойств почвенных образцов производится на pH-метре стационарном Hanna, спектрофотометре КФК-3КМ. Лабораторная часть исследования проводилась на базе ФБГУ Химцентр «Московский», анализ растительных проб на содержание Cu, Zn – на базе Испытательного центра ФГБОУ ВО МСХА им. К.А. Тимирязева.. Для обработки результатов использованы программа Exсel пакета Microsoft Office 365 и пакет STATISTICA 13.3. Проводилось вычисление средних, ошибки среднего, дисперсии, стандартного отклонения, коэффициента вариации, наименьшей существенной разницы, относительного содержания форм Cu, Zn; построение гистограмм; корреляционный анализ - непараметрическая статистика; факторный анализ. С помощью пакета STATISTICA была осуществлена проверка полученных при помощи инструментальных лабораторных и химических методов анализа рядов величин на нормальность распределения. Установлено, что за пределы нормального распределения для образцов почвы выходят значения pH, гумуса, P2O5, K2O, вытяжки Cu с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Cu, комплексной формы Cu, валовой формы Zn, вытяжки Zn с 1н HNO3, 1% ЭДТА (+ ААБ pH 4,8), значения специфически сорбированной формы Zn, комплексной формы Zn. В связи с этим в анализе использовался модуль непараметрической статистики и вычислялся критерий Спирмена.. Научная значимость работы. Исследование является попыткой перенесения методики, предложенной Минкиной с соавторами [18, 19, 22] по оценке динамики подвижных форм ТМ для анализа длительного полевого опыта по изучению последействия высоких доз органо-минеральных удобрений за 25 лет (1992-2017 гг.). Подход расширен на основе сопряженных данных по накоплению Zn, Cu растениями, учета урожайности и качества продукции на почвах с разным содержанием Cu и Zn. Предлагаемый подход позволил более точно описать взаимосвязь между количеством и типом подвижных форм Cu, Zn в почвах при внесении удобрений, с учетом последействия, выявить влияния микроэлементов на качество растительной продукции.. Обсуждение результатов исследования. Общие изменения агрохимических свойств почвы, происходящей вследствие последействия внесения высоких доз органо-минеральной системы удобрений, а затем – используемой в опыте СШ 5М экстенсивной и интенсивной модели внесения удобрений на фоне последействия прослежены в образцах за период 1992-2017 гг. Основные результаты отражены в таблице 2.. Таблица 2 - Динамика агрохимических показателей при последействии удобрений (экстенсивная система). год. поля. вар-т. Доза последействия. pH. Нr,. мг-экв/100 г. Гумус, %. P2O5, мг/кг. K2O, мг/кг. 1992. 1. 1. контроль. 6,1. 0,99. 1,65. 125. 91. 1992. 1. 2. 1 орг. 6,0. 1,18. 2,24. 102. 112. 1992. 1. 6. 2 орг + 1 NPK. 6,3. 0,97. 2,54. 211. 167. 1992. 1. 7. 2 орг+ 3 NPK. 6,1. 1,18. 1,79. 214. 169. 1992. 1. 9. 2 орг. 6,0. 1,2. 1,66. 128. 117. . Среднее. 6,1. 1,10. 1,98. 156. 131. НСР0,05. 0,2. 0,18. 0,64. 85. 57. 2004. 1. 1. контроль. 5,8. 1,15. 1,74. 81. 75. 2004. 1. 2. 1 орг. 5,6. 1,53. 1,56. 78. 83. 2004. 1. 5. 1 орг + 3 NPK. 5,6. 1,6. 1,18. 161. 128. 2004. 1. 6. 2 орг+ 1 NPK. 5,9. 1,28. 1,77. 163. 123. 2004. 1. 7. 2 орг+ 3 NPK. 5,8. 1,43. 1,83. 181. 177. 2004. 1. 9. 2 орг. 5,9. 1,26. 1,70. 96. 77. . Среднее. 5,8. 1,38. 1,63. 127. 111. НСР0,05. 0,2. 0,25. 0,34. 66. 57. 2011. 1. 1. контроль. 5,9. 1,2. 1,79. 85. 77. 2011. 1. 2. 1 орг. н.д.. н.д.. 1,95. 134. 159. 2011. 1. 5. 1 орг + 3 NPK. н.д.. н.д.. 1,79. 197. 188. 2011. 1. 7. 2 орг+ 3 NPK. 5,6. 1,63. 1,83. 182. 174. 2011. 1. 9. 2 орг. 5,7. 1,37. 1,68. 127. 103. . Среднее. 5,7. 1,40. 1,81. 145. 140. НСР0,05. 0,2. 0,35. 0,16. 73. 78. 2016. 1. 1. контроль. 5,6. 1,46. 2,2. 59. 119. 2016. 1. 5. 1 орг+ 3 NPK. 5,5. 1,67. 1,8. 136. 175. 2016. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. 5,6. 1,7. 2,1. 144. 190. 2016. 1. 9. 2 орг. 5,6. 1,5. 2,0. 147. 172. . Среднее. 5,6. 1,58. 2,03. 122. 164. НСР0,05. 0,1. 0,24. 0,34. 82. 61. 2017. 2. 1. контроль. 5,6. 1,34. 1,7. 66. 101. 2017. 2. 2. 1 орг. 5,6. 1,31. 1,8. 85. 114. 2017. 2. 5. 1 орг + 3 NPK. 5,6. 1,31. 2. 119. 144. 2017. 2. 6. 2 орг+ 1 NPK. 5,6. 1,56. 1,9. 150. 102. 2017. 2. 7. 2 орг+ 3 NPK. 5,7. 1,26. 2,2. 82. 187. 2017. 2. 9. 2 орг. 5,7. 1,26. 2. 102. 82. . Среднее. 5,6. 1,34. 1,93. 101. 122. НСР0,05. 0,1. 0,16. 0,25. 43. 54. Отмечены варьирования показателей: рН - 5, 6 - 6,1; Hг: 1 - 1,7 мг/экв-100 г; гумус: 1,7 - 2,2 %; P2O5: 59 - 214 мг/кг; K2O: 75 - 190 мг/кг. Для выявления статистически значимых закономерностей при изменении разных рядов данных, существенно различающихся внутри одного ряда, был выбран указанный выше метод корреляционного анализа для непараметрической статистики и критерий оценки – коэффициент Спирмена.. Динамика содержания гумуса в исследованных вариантах опыта показана в таблице 1 Приложения. Отмечаются более высокие (выше средней по выборке) значения показателей на вариантах 2, 6, 7, что свидетельствует о наличии эффекта последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения для накопления гумуса. При этом в накоплении и сохранении гумуса наиболее высокие показатели имел вариант 6 (последействие 100 т/га навоза + 1 NPK).. Можно отметить как тенденцию, что на контроле (без удобрений в опыте 1960 – 1992 гг.) и на вариантах 5, 7, 9 содержание гумуса в динамике растет, при внесении одной дозы навоза - снижается. Наибольшее содержание гумуса наблюдается при последействии высоких доз навоза (как правило, 100 т/га) в комплексе с внесением хотя бы одной дозы NPK, прежде всего на тех вариантах, где в возобновленном опыте СШ 5М использовалась интенсивная система удобрений и имелся также актуальный фон внесения удобрений N90 P90 K90. Наименьшее содержание органического вещества приходится на годы изучения последействия. Показательно, что низкое содержание органического вещества характерно и для возобновленного опыта (при экстенсивной системе) даже на фоне последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения в СШ 5 (например, 50т/га + 3 NPK). Наиболее высокое содержание гумуса (с учетом значений НСР) выявлено в образцах почвы 2016 – 2017 гг., как экстенсивной, так и интенсивной модели внесения удобрений, а именно в образцах с поля 2, вариант 6 (последействие 100 т/га навоза + 1 NPK) и вариант 5 (последействие 50 т/га навоза + 3NPK), интенсивная модель внесения удобрений, в образце с поля 1, вариант 1 (контроль), экстенсивная модель (без удобрений), а также в образцах с поля 2, вариант 7 (последействие 100 т/га навоза + 3 NPK), как экстенсивная, так и интенсивная модель внесения удобрений. Во всех названных случаях содержание гумуса составило от 2,8 до 2,2 %.. Характерно, что наиболее низкие значения наличия органического вещества в почве также относятся к 2016 – 2017 гг. а именно, в частности, в образце почвы с поля 2, вариант 1 (контроль), 2017, экстенсивная модель внесения удобрений (без актуального фона).. Общая тенденция последействия заключается в том, что по годам (согласно таблице 4) pH падает (от 6,1 в 1992 г. в среднем по полю до 5,5 в 2016 г. по тому же полю и 5,6 в 2017 году по полю 2), а Hr (гидролитическая кислотность) растет (от 1,1 мг-экв/100 г в 1992 г. в среднем по полю до 1,6 в 2016 по тому же полю и 1,34 мг-экв/100 г в 2017 г. по полю 2). При этом НСР в годы последействия растет (соответственно от 0,2 для pH и 0,18 для Hr в 1992 г. до 0,25 для pH и 0,35 для Hr в 2011 г.), а в опыте СШ 5М, несмотря на наличие частей делянок с экстенсивной и интенсивной моделью внесения удобрений – падает (соответственно поле 1 в 2016 г. для pH – НСР0,05 0,1, для Hr – НСР0,05 0,24, в 2017 г. для pH НСР0,05 – 0,07, для Hr НСР0,05 – 0,16), снижая вариабельность данных. Таким образом, подкисление почвы происходит и на фоне последействия и при возобновлении опыта.. Так как с 2011 г. были выделены части каждого варианта, на которых использовалась как экстенсивная (таблица 3), так и интенсивная система удобрений (таблица 3), агрохимические свойства почвы подвергались также и воздействию данного фактора.. Таблица 3 - Содержание подвижных форм фосфора и калия при интенсивной модели внесения минеральных удобрений (2016, 2017 гг.). год. поле. вар-т. Доза последействия. pH. Нr, мг-экв/100 г. Гумус, %. P2O5 мг/кг. K2O мг/кг. 2016. 1. 1. контроль. 5,5. 1,60. 2,0. 107. 141. 2017. 2. 5,6. 1,34. 2,0. 86. 141. 2017. 2. 2. 1 орг. 5,6. 1,37. 1,9. 106. 160. 2016. 1. 5. 1 орг+ 3NPK. 5,4. 1,82. 2,0. 187. 203. 2017. 2. 5,7. 1,31. 2,3. 146. 188. 2017. 2. 6. 2 орг+ 1 NPK. 5,7. 1,26. 2,8. 160. 184. 2016. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. 5,5. 1,70. 1,8. 211. 198. 2017. 2. 5,6. 1,43. 2,2. 191. 198. 2016. 1. 9. 2 орг. 5,5. 1,63. 1,9. 137. 168. 2017. 2. 5,6. 1,37. 2,1. 140. 196. В связи с отменой внесения удобрений в 1992 – 2011 гг. наиболее подвержены из агрохимических свойств почвы изменения количества подвижного фосфора и калия. С 1992 к 2011 гг. их показатели снижаются от 156 мг/кг в 1992 для фосфора к 126,7 мг/кг в 2004 г., для калия – от 131,2 в 1992 г. до 110,5 в 2004 г. В 2011 г. с началом опыта СШ 5М на частях вариантов без внесения удобрений количество подвижного фосфора и калия продолжает снижаться, а на частях делянок с внесением минеральных удобрений (N90P90K90)- возрастает и на первом, и на втором поле.. Значения P2O5 и K2O в выборке варьируют, по классификации Кирсанова, Чирикова, от среднего до высокого; pH – от близкого к нейтральному до нейтрального; Hr – в пределах самой низкой по показателям 6-й группы (менее 2,0); гумус – от 1-й до 2-й группы по Тюрину [23; 24, стр. 340].. Для описания последействия содержания подвижного фосфора и калия важно, что НСР при последействии для K2O увеличивается от 57 до 78 мг/кг, что говорит о большей вариабельности значений и о сохранении более высоких показателей на вариантах с последействием более высоких доз удобрений. Так, и в 2004 г. (соответственно подвижный фосфор – 181 мг/кг, калий – 177 мг/кг при соответствующих средних значениях 126,7 и 110,5 мг/кг), и в 2011 г. (соответственно подвижный фосфор – 182 мг/кг, калий – 174 мг/кг при соответствующих средних значениях 125,3 и 133,0 мг/кг) наиболее высокие показатели подвижных фосфора и калия сохраняются на варианте с дозой внесения удобрений в опыте СШ 5 100 т/га навоза + 3 NPK. В 2011 г. наблюдается рост содержания подвижного фосфора и калия также на варианте с фоном в опыте СШ 5 50 т/га навоза + 3 NPK.. В дальнейшем (2016 – 2017 гг.) тенденция к более высокому количеству подвижных фосфора и калия на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрения опыта СШ 5 (прежде всего, варианты 7, 5) сохраняется, а на контроле в опыте СШ 5 количество подвижного фосфора продолжает падать (соответственно подвижный фосфор на поле 1 в 2016 г. – 59 мг/кг, в 2017 г. на поле 2 – 66 мг/кг). При интенсивной модели внесения удобрений (N90P90K90) в опыте СШ 5М в 2016 – 2017 гг. содержание подвижного фосфора и калия растёт, при этом показатели также являются наиболее высокими на вариантах с проявлением последействия - 7, 5, 6. Более значительно увеличивается содержание подвижного калия, оно выравнивается на всех вариантах, за исключением контроля, и существенно отклоняется от средней по выборке. Оба показателя растут или снижаются однонаправленно, что указывает на совместное внесение удобрений как основной фактор их динамики (рисунок 1).. Можно заметить, что в контроле с 1992-2016 гг. класс по обеспеченности P2O5 понизился с IV до III (125->59мг/кг), и в варианте с высокими дозами удобрений с V до IV (214->144 мг/кг); по K2O повысился с III до IV (91->119 мг/кг) без внесения, а при последействии высоких доз остался на уровне V класса (169->190 мг/кг).. Данные по динамике показателей K2O на вариантах 1, 7, 9 (интенсивная/экстенсивная модель) приведены в таблице 2 Приложения.. . Рисунок 1. Взаимосвязь содержания подвижных фосфора (P2O5) и калия (K2O) в проанализированных образцах почвы (мг/кг). Чтобы подтвердить данные наблюдения, проведем статистическое испытание – сравним с помощью корреляционного анализа данные по подвижному фосфору почвы делянок 1, 7, 9 по годам – 1992, 2004, 2011, 2016, 2017 попарно. Результаты статистического испытания доказывают стабильность показателя подвижного фосфора в почве. При этом стабильные близкие показатели объединяют между собой в разных вариантах с коэффициентом совпадения r = 1,0 годы изучения последействия – 1992, 2004, 2011 и варианты с интенсивной системой удобрения в 2016, 2017 гг. Менее тесная, но значимая корреляция наблюдается попарно между данными по свободному фосфору в годы изучения последействия и вариантами с экстенсивной системой удобрения в 2016-2017 гг. с коэффициентом r = 0,5. Можно предположить, что после 20 лет последействия сходное содержание подвижного фосфора может быть получено на вариантах при возобновлении внесения минеральных удобрений, пополняющих запас подвижного фосфора.. Статистический эксперимент с аналогичной выборкой данных по подвижному калию в почве вариантов 1, 7, 9 за годы 1992, 2004, 2011, 2016 (без удобрения), 2016 (с удобрением), 2017 (без удобрения), 2017 (с удобрением), чтобы установить статистическую близость или различия между показателями за разные годы (таблица 3 Приложения) показывает, что большинство показателей за все годы коррелирует друг с другом с коэффициентом корреляции по Спирмену r = 1, 0. При существенной НСР, полученные данные также указывают, что значения подвижного калия статистически значимы, при попарном сравнении от года к году не изменяются. При внесении удобрений содержание подвижного калия на разных полях выравнивается.. Опишем общую динамику изменения агрохимических свойств почвы. Приведем корреляционную матрицу (таблица 4).. Таблица 4 - Коэффициенты корреляции между значениями агрохимических показателей образцов почв 1992 – 2017 гг. (коэффициент Спирмена). Значение. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. pH. Hr. Гумус. P2O5. K2O. pH. 1,000. -0,880. -0,112. -0,022. -0,403. Hr. -0,880. 1,000. 0,014. 0,254. 0,469. Гумус. -0,112. 0,014. 1,000. 0,162. 0,549. P2O5. -0,022. 0,254. 0,162. 1,000. 0,643. K2O. -0,403. 0,469. 0,549. 0,643. 1,000. Как следует из матрицы (таблица 5), выраженная статистически значимая обратная зависимость существует между значениями pH и Hr (r = -0,88), менее выраженная обратная зависимость – между pH и количеством подвижного калия (r = -0,40). Прямая статистически значимая зависимость существует между значениями подвижного калия и фосфора (коэффициент 0,64), менее выраженная прямая статистически значимая зависимость – между значениями подвижного калия и количеством органического вещества почвы (r = 0,55), а также значениями Hr (r = 0,47). Проиллюстрируем связь между К2О и гумусом (рисунок 2).. . Рисунок 2. Изменения количества органического вещества почвы (%) при изменении значений подвижного калия (К2О), мг/кг. В процессе исследования выявлено, что агрохимические показатели почвы в последействии меняются неоднородно. Группа показателей почвенной кислотности, которые с течением времени изменяются на всех вариантах опыта, обнаруживают общую тенденцию изменения характеристик почвы (pH, Hr). Содержание гумуса остается более стабильным во времени и связано как с историей применения удобрений, так и с влиянием севооборота. Содержание подвижных форм P2O5, K2O заметно снижается в последействии, тренд изменяется при возобновлении интенсивного внесения удобрения.. Была использована усовершенствованная схема, предложенная Т.М. Минкиной и др. [18, 19, 22] для расчета состава подвижных форм меди и цинка (рисунок 3).. . . . Разность вытяжек. 1н HNO3 - ААБ. . Специфически сорбированные формы. Вытяжка. 1н ААБ 4,8 pH. . Обменные формы. Разность вытяжек. 1% ЭДТА – ААБ 4,8 pH. . Комплексные. (с орг. в-вом) формы. Рисунок 3. Подвижные формы меди и цинка. Группа непрочно связанных соединений металлов в почвах и их экстрагенты (с изменениями). Данные вытяжки с ААБ считались условно данными об обменных формах Cu, Zn. Данные о специфически-сорбированных формах Cu, Zn рассчитаны как разность содержания элемента в вытяжке 1н HNO3 и вытяжке с ААБ pH 4,8. Данные о подвижных комплексных формах Cu, Zn, связанных с органическим веществом, рассчитывались как разность вытяжки с (1% ЭДТА+ААБ) и вытяжки с ААБ pH 4,8. Приведем результаты с учетом динамики по годам отбора образцов (таблица 5; Приложение, таблица 4).. Таблица 5 - Агрохимические свойства и формы Cu, Zn (мг/кг) в пробах почвы 1992 - 2017 гг.. . год. поле. вар-т. с/у(1)/. б/у(0). pH. Нr. (мг-экв/. 100г). Гумус. (%). Cu. вал.. Cu. обм.. Cu. спец. сорб.. Cu. св.. с ОВ. Zn. вал.. Zn. обм.. Zn. спец.. сорб.. Zn. св.. с ОВ. 1992. 1. 1. 0. 6,1. 0,99. 1,65. 8,6. 0,14. 2,86. 2,16. 36,3. 1,22. 3,38. 1,58. 1992. 1. 2. 0. 6. 1,18. 2,24. 7,4. 0,11. 3,29. 1,89. 34,9. 1,6. 2,5. 0,3. 1992. 1. 6. 0. 6,3. 0,97. 2,54. 7,2. 0,14. 2,86. 1,36. 32,4. 1,55. 3,35. 0,05. 1992. 1. 7. 0. 6,1. 1,18. 1,79. 6,6. 0,13. 2,67. 1,27. 25,3. 1,47. 3,63. 0. 1992. 1. 9. 0. 6. 1,2. 1,66. 7,6. 0,12. 3,18. 1,88. 27,5. 1,37. 4,53. 0,83. . НСР0,05. 0,2. 0,18. 0,64. 1,19. 0,02. 0,42. 0,62. 7,70. 0,25. 1,18. 1,08. средн.. 6,1. 1,10. 1,98. 7,48. 0,13. 2,97. 1,71. 31,28. 1,44. 3,48. 0,55. 2004. 1. 1. 0. 5,8. 1,15. 1,74. 8,1. 0,2. 2,7. 2,3. 34,2. 1,15. 3,55. 0,85. 2004. 1. 2. 0. 5,6. 1,53. 1,56. 8. 0,24. 2,96. 2,46. 36,5. 1,17. 3,33. 0,63. 2004. 1. 5. 0. 5,6. 1,6. 1,18. 7,3. 0,18. 2,42. 2,02. 33,5. 1,37. 2,63. 0. 2004. 1. 6. 0. 5,9. 1,28. 1,77. 6,4. 0,12. 2,48. 0,88. 26,2. 1,5. 3,2. 0,4. 2004. 1. 7. 0. 5,8. 1,43. 1,83. 6,7. 0,19. 2,91. 2,21. 26,6. 1,65. 3,75. 0. 2004. 1. 9. 0. 5,9. 1,26. 1,7. 7,3. 0,18. 5,12. 2,92. 27,9. 1,7. 3. 0,5. . НСР0,05. 0,2. 0,25. 0,34. 0,96. 0,05. 1,43. 0,97. 6,27. 0,33. 0,56. 0,48. средн.. 5,8. 1,38. 1,63. 7,30. 0,19. 3,10. 2,13. 30,82. 1,42. 3,24. 0,40. 2011. 1. 1. 0. 5,9. 1,2. 1,79. 7,9. 0,23. 2,37. 1,97. 35,9. 1,15. 3,35. 0,25. 2011. 1. 2. 0. Н.д.. Н.д.. 1,95. 7,8. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 33,8. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 2011. 1. 5. 0. Н.д.. Н.д.. 1,79. 6,2. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 26,1. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 2011. 1. 7. 0. 5,6. 1,63. 1,83. 6,6. 0,19. 2,31. 2,31. 26,8. 1,49. 2,21. 1,11. 2011. 1. 9. 0. 5,7. 1,37. 1,68. 8,8. 0,14. 2,06. 2,16. 31,9. 1,21. 3,19. 0,99. . НСР0,05. 0,2. 0,35. 0,16. 1,71. 0,07. 0,27. 0,28. 7,01. 0,30. 1,00. 0,76. средн.. 5,7. 1,40. 1,81. 7,46. 0,19. 2,25. 2,15. 30,90. 1,28. 2,92. 0,78. 2016. 1. 1. 0. 5,6. 1,46. 2,2. 5,6. 0,1. 1,8. 6,8. 23. 0,9. 3,7. 3,3. 2016. 1. 5. 0. 5,5. 1,67. 1,8. 6,8. 0,09. 2,01. 19,91. 23. 1,4. 3,7. 9,4. 2016. 1. 7. 0. 5,6. 1,7. 2,1. 7,9. 0,19. 2,31. 9,71. 25,2. 2,2. 4,1. 5,4. 2016. 1. 9. 0. 5,6. 1,5. 2. 8,1. 0,07. 3,03. 8,83. 30. 2. 0,5. 4,4. 2016. 1. 1. 1. 5,5. 1,6. 2. 5,1. 0,07. 1,83. 6,53. 21. 0,8. 4,5. 3,5. 2016. 1. 5. 1. 5,4. 1,82. 2. 7,8. 0,14. 2,26. 19,56. 22,4. 1,2. 3,4. 6,9. 2016. 1. 7. 1. 5,5. 1,7. 1,8. 8. 0,19. 2,61. 9,11. 23. 1,1. 3,3. 4,2. 2016. 1. 9. 1. 5,5. 1,63. 1,9. 10,4. 0,05. 1,55. 15,05. 24,2. 1,7. 2,7. 5,7. . НСР0,05. 0,1. 0,13. 0,16. 1,91. 0,06. 0,56. 6,31. 3,14. 0,59. 1,42. 2,34. средн.. 5,5. 1,64. 1,98. 7,46. 0,11. 2,18. 11,94. 23,98. 1,41. 3,24. 5,35. 2017. 2. 1. 0. 5,6. 1,34. 1,7. 6,5. 0,07. 2,93. 15,93. 23,6. 1,2. 4. 7,2. 2017. 2. 2. 0. 5,6. 1,31. 1,8. 6,7. 0,07. 3,43. 9,13. 24,2. 1,7. 4,8. 3,5. 2017. 2. 5. 0. 5,6. 1,31. 2. 9,9. 0,15. 3,75. 17,55. 28,8. 1,5. 6. 7,9. 2017. 2. 6. 0. 5,6. 1,56. 1,9. 10,6. 0,17. 3,63. 15,23. 28,2. 2,8. 5,2. 5,8. 2017. 2. 7. 0. 5,7. 1,26. 2,2. 10,4. 0,19. 3,91. 13,61. 29,6. 1,8. 6,4. 5,9. 2017. 2. 9. 0. 5,7. 1,26. 2. 9. 0,06. 3,34. 14,64. 25,4. 1,7. 5. 6,5. 2017. 2. 1. 1. 5,6. 1,34. 2. 8,6. 0,08. 3,82. 10,82. 30,2. 1. 6,4. 5,1. 2017. 2. 2. 1. 5,6. 1,37. 1,9. 8,4. 0,08. 2,62. 18,02. 28,5. 1,3. 6,1. 7,7. 2017. 2. 5. 1. 5,7. 1,31. 2,3. 9,5. 0,12. 2,18. 16,78. 28,8. 1,7. 3,8. 6. 2017. 2. 6. 1. 5,7. 1,26. 2,8. 7,6. 0,18. 3,62. 10,72. 21,8. 1,6. 5,8. 4,4. 2017. 2. 7. 1. 5,6. 1,43. 2,2. 8,7. 0,18. 2,52. 11,72. 24,8. 1,4. 4. 5,2. 2017. 2. 9. 1. 5,6. 1,37. 2,1. 9. 0,05. 2,05. 18,25. 23,2. 1,8. 3,8. 7,1. . НСР0,05. 0,04. 0,08. 0,25. 1,17. 0,05. 0,59. 2,79. 2,57. 0,40. 0,91. 1,19. средн.. 5,6. 1,34. 2,08. 8,74. 0,12. 3,15. 14,37. 26,43. 1,63. 5,11. 6,03. среднее выборки. 5,8. 1,37. 1,89. 7,69. 0,15. 2,73. 6,46. 28,68. 1,44. 3,60. 2,62. НСР0,05. 0,10. 0,10. 0,14. 0,63. 0,03. 0,35. 3,14. 2,15. 0,18. 0,61. 1,39. Распространенность и особенности накопления форм меди и цинка в почве зависят от её агрохимических показателей. Взаимосвязи могут быть подтверждены как при помощи элементарной статистики, так и при помощи корреляционного анализа, а также – отображены в виде графиков.. Приведем соответствующую корреляционную матрицу (Таблица 6). Наиболее выражена зависимость между подвижными формами меди и цинка. Прямая зависимость существует между содержанием органического вещества в почве и связанной с органическим веществом медью, всеми формами подвижного цинка. Также результата анализа свидетельствует и наличии прямой взаимосвязи между комплексными и специфически сорбированными формами подвижных меди и цинка в почве. Наиболее выраженная обратная зависимость существует между показателями кислотности и подвижными формами меди и цинка.. Таблица 6 - Агрохимические свойств почвы и формы Cu, Zn в пробах почвы 1992 - 2017 гг.. Критерий. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0,05. pH. Hr. гумус. P2O5. K2O. Cu вал.. Cu обм.. Cu сп.. сорб.. Cu св. с ОВ. Zn вал.. Zn. обм.. Zn сп.. сорб.. Zn св. с ОВ. pH. 1,00. -0,88. -0,11. -0,02. -0,40. -0,09. 0,22. 0,37. -0,68. 0,53. 0,15. -0,10. -0,61. Hr. -0,88. 1,00. 0,01. 0,25. 0,47. -0,02. -0,01. -0,48. 0,45. -0,46. -0,05. -0,12. 0,36. гумус. -0,11. 0,01. 1,00. 0,16. 0,55. 0,20. -0,20. -0,01. 0,38. -0,28. 0,35. 0,34. 0,36. P2O5. -0,02. 0,25. 0,16. 1,00. 0,64. -0,06. 0,18. -0,24. -0,12. -0,25. 0,24. -0,25. -0,15. K2O. -0,40. 0,47. 0,55. 0,64. 1,00. 0,09. 0,00. -0,31. 0,40. -0,50. 0,24. 0,12. 0,35. Cu вал.. -0,09. -0,02. 0,20. -0,06. 0,09. 1,00. 0,03. 0,19. 0,46. 0,32. 0,33. 0,26. 0,48. Cu обм.. 0,22. -0,01. -0,20. 0,14. 0,00. 0,03. 1,00. 0,16. -0,32. 0,36. -0,12. -0,15. -0,40. Cu сп.. сорб.. 0,37. -0,48. -0,01. -0,24. -0,31. 0,19. 0,16. 1,00. -0,06. 0,34. 0,28. 0,35. -0,06. Cu св.. с ОВ. -0,68. 0,45. 0,38. -0,12. 0,39. 0,46. -0,32. -0,06. 1,00. -0,44. 0,21. 0,50. 0,95. Zn вал.. 0,53. -0,46. -0,28. -0,25. -0,50. 0,32. 0,36. 0,34. -0,44. 1,00. -0,02. -0,26. -0,41. Zn обм.. 0,15. -0,05. 0,35. 0,24. 0,24. 0,33. -0,12. 0,28. 0,21. -0,02. 1,00. 0,07. 0,18. Zn сп.. сорб.. -0,10. -0,12. 0,34. -0,25. 0,12. 0,26. -0,15. 0,35. 0,50. -0,26. 0,07. 1,00. 0,53. Zn св.. с ОВ. -0,61. 0,36. 0,36. -0,15. 0,35. 0,48. -0,40. -0,06. 0,95. -0,41. 0,18. 0,53. 1,00. Варьирование во времени и по вариантам опыта содержания Cu происходит в валовой форме - в пределах низких значений - от 10,6 до 5,1 мг/кг, в обменной форме - в пределах от средних к низким значениям - от 0,24 до 0,05 мг/кг; Zn – в валовой форме - в пределах низких значений– от 36,5 до 21 мг/кг; в обменной форме - в пределах значений от средних к низким - от 2,8 до 0,8 мг/кг [23; 24].. Как видно в таблице 8 и на рисунке 4, специфически сорбированные формы Cu, Zn имеют обратную зависимость от значений гидролитической кислотности (Hr).. . Рисунок 4. Зависимость между специфически сорбированными формами Cu в почве (мг/кг) и гидролитической кислотностью почвы (мг-экв/100 г). Содержание форм меди и цинка, связанных с органическим веществом почвы, имеет обратную связь со значениями pH. Прямая зависимость наблюдается между комплексными формами Cu, Zn и содержанием органического вещества почвы (рисунок 5).. . Рисунок 5. Взаимосвязь комплексных форма цинка (мг/кг) и содержания органического вещества почвы (%). Прямая зависимость и высокий коэффициент корреляции объединяет подвижные формы меди и цинка, связанные с органическим веществом (r=0,95), что говорит о том, что данные ТМ попадают в почву, накапливаются в ней и становятся доступными растениям совместно. Также прямая взаимосвязь объединяет для Zn специфически сорбированную форму и комплексную форму Zn, связанную с органическим веществом (r = 0,53).. Рассмотрим динамику форм меди и цинка в зависимости от последействия на фоне внесения высоких доз органо-минеральной системы применения удобрений в опыте СШ 5. Так как процесс накопления и трансформации данных элементов в почве происходит длительно и относится к медленным, наличием/отсутствием актуального фона внесения удобрения в 2016-2017 гг. мы можем пренебречь.. Согласно таблице 5 Приложения, если специфически сорбированная форма подвижной меди имеет наиболее высокие значения на вариантах 2 и 6, то связанная с органическим веществом почвы подвижная форма меди - на варианте 5. Та же закономерность прослеживается и для подвижных форм цинка: наиболее высокие средние значения характерны для специфически сорбированной формы подвижного цинка вариантов 6 и 2, для связанного с органическим веществом почвы подвижного цинка – варианта 5, как и в случае с медью. Таким образом, можно говорить о преимущественном накоплении в результате последействия доз органо-минеральной системы удобрения разных форм подвижных Cu, Zn. В случае с вариантами 6, 2 происходит накопление подвижных форм Cu, Zn, мало доступных растениям и связанных оксидами и гидроксидами металлов, накапливаемых при повышении кислотности почвы), а в варианте 5 - накопление доступных для растений форм подвижных Cu, Zn, связанных с органическим веществом и увеличивающихся при снижении кислотности почвы. Чтобы выявить статистически значимые закономерности последействия, установим меры близости средних значений формам меди и цинка повариантно, без учета года отбора пробы. Корреляционный анализ показал, что между данными всех вариантов существует высокий коэффициент корреляции (выше r = 0,95 по Спирмену, а для пар – варианты 1 – 7, 5 - 9 r = 1,00). Данный факт свидетельствует, что вне зависимости от последействия на каждом из вариантов действуют одни и те же универсальные механизмы накопления и трансформации форм меди и цинка.. Рассмотрим динамику изменения содержания подвижных форм меди и цинка в почве по годам на примере 3-х наиболее контрастных по вносимым в опыте СШ 5 дозам удобрений (варианты 1, 7, 9).. Опишем наглядно динамику изменений форм меди и цинка в почве на примере образцов, собранных с трех вариантов поля 1 (1, 7, 9) в 1992, 2004, 2011, 2016 гг. и аналогичных делянок поля 2 в 2017 г. с помощью таблиц и графиков (гистограмм).. Неподвижные формы Cu, Zn рассчитаны как разность между показателями валовой формы Cu, Zn и суммарными данными по Cu, Zn обменным (аналогично вытяжке Cu, Zn с ААБ, при pH 4, 8), комплексным (аналогично разнице вытяжки (1 % ЭДТА+ ААБ) и вытяжки с ААБ) и специфически связанными Cu, Zn (разница между вытяжкой Cu, Zn 1н HNO3 с вытяжкой ААБ). Приведем далее таблицы 7 – 12, описывающие расчет (абсолютные цифры) и соотношение относительных (в %) величин подвижных (трех типов) и неподвижной форм Cu, Zn по методике описания Т.М. Минкиной [18, 19, 22]. Приведем относительные величины, демонстрирующие изменения соотношения разных форм Zn в почве от 1992 к 2016 г. (таблица 7).. Таблица 7 - Трансформация соединений цинка (ПС\*, НС\*\*) при последействии длительного применения удобрений на дерново-подзолистой почве. Доза удобрения. . . 1992. 2016. 1992. 2016. Контроль. . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . 100 т/га навоза. . . . . \*ПС – прочно сорбированные.. \*\*НС – непрочно сорбированные.. Приведем также абсолютные цифры данного расчета по каждому из трех вариантов (1, 7, 9), например, для подвижных форм меди (таблица 8). В том случае, если в измерениях (для меди) существовала погрешность и данные формы превышали в сумме количество валовой меди в почве, нами считалось, что подвижные формы меди составляют 100 % соединений меди в почве. В случае с цинком подобные погрешности в измерениях отсутствовали.. Таблица 8 - Динамика обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм меди вариантов 1, 7, 9 на последействии удобрений. Обменная форма меди (вытяжка с ААБ), мг/кг. год. вариант 1. вариант 7. вариант 9. 1992. 0,14. 0,13. 0,12. 2004. 0,20. 0,19. 0,18. 2011. 0,23. 0,19. 0,14. 2016. 0,10. 0,19. 0,07. 2017. 0,07. 0,19. 0,06. Специфически сорбированная форма меди, мг/кг. год. вариант 1. вариант 7. вариант 9. 1992. 2,86. 2,67. 3,18. 2004. 2,70. 2,91. 5,12. 2011. 2,37. 2,31. 2,06. 2016. 1,80. 2,31. 3,03. 2017. 2,93. 3,91. 3,34. Комплексная форма меди (связанная с ОВ), мг/кг. год. вариант 1. вариант 7. Вариант 9. 1992. 2,16. 1,27. 1,88. 2004. 2,30. 2,21. 2,92. 2011. 1,97. 2,31. 2,16. 2016. 6,80. 9,71. 8,83. 2017. 15,93. 13,61. 14,64. При сравнении показателей подвижности форм Cu (таблица 9) и Zn на вариантах 1, 7, 9 (таблица 7) при изучении последействия, а также в 1992, 2004, 2011, 2016 гг. (поле 1), 2017г. (поле 2) (таблицы 11 – 12) и с интенсивной системой внесения удобрений в опыте СШ 5М (N90 P90 K90) на поле 1 и 2 в 2016 и 2017 гг. (таблица 10) показано, что внесение минеральных удобрений на вариантах с изучением последействия не изменяет соотношений внутри группы непрочно связанных подвижных форм Cu и Zn.. Приведем также и аналогичные относительных величины для Zn на вариантах последействия с интенсивной системой удобрений (таблица 10), а также все относительные данные по Zn, Cu на 3-х вариантах в динамике (таблицы 11, 12) при изучении последействия и в СШ 5 М.. Таблица 9 - Трансформация соединений меди при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве. Доза удобрения. . . 1992. 2016. 1992. 2016. Контроль. . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . 100 т/га навоза. . . . . . Таблица 10 - Трансформация соединений цинка при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве при внесении удобрений N90P90K90. Доза удобрения. . . 2016 (п. 1). 2017 (п.2). 2016 (п.1). 2017 (п.2). Контроль. . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . 100 т/га навоза. . . . . Доза удобрения (Zn). . . 1992. 2004. 2011. 2016. 2017 (п.2). 1992. 2004. 2011. 2016. 2017 (п.2). контроль. . . . . . . . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . . . . . . . 100 т/га навоза. . . . . . . . . . . Таблица 11 - Трансформация соединений цинка при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве. . Доза удобрения (Cu). . . 1992. 2004. 2011. 2016. 2017 (п.2). 1992. 2004. 2011. 2016. 2017 (п.2). контроль. . . . . . . . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . . . . . . . 100 т/га навоза. . . . . . . . . . . . Таблица 12 - Трансформация соединений меди при последействии длительного применения удобрений в дерново-подзолистой почве. Таблица 7 Приложения показывает относительные цифры для форм Cu при интенсивной системе внесения удобрений. Серия рисунков (гистограмм) показывает изменение в абсолютных величинах (рисунки 1 - 6 Приложения), и в относительных числах, % (рисунки 7 - 12 Приложения) непрочно связанных форм Zn, Cu в динамике по годам опыта на вариантах длительного опыта (Приложение, рисунки 1 – 12). На фоне падения относительного количества форм Zn обменной и специфически сорбированной, виден рост доли комплексной формы Zn (связанной с органическим веществом). С течением времени происходит перераспределение в целом прочно связанных с почвой и непрочно связанных форм Zn в сторону последних. В варианте опыта с изучением последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения происходят наиболее явные перераспределения прочно связанной и непрочно связанных форм Zn, наиболее пологим является график изменения соотношений данных форм с изучением последействия высокой дозы органического удобрения (Приложение, рисунки 13- 15).. Аналогичные графики для меди показывают стабильность показателей обменной формы Cu в почве при росте относительного содержания комплексной формы за счёт снижения доли специфически сорбированной формы Cu (Приложение, рисунки 16 – 17). Наблюдения над динамикой изменения соотношения непрочно связанных соединений и прочно связанных с почвой форм Zn, а также над относительными цифрами обменной, комплексной и специфически сорбированной формы Zn в составе непрочно связанных подвижных соединений Zn в вариантах 2, 5, 6 обнаруживают ту же тенденцию, что и в вариантах 1, 7, 9 (Приложение, таблица 8), а именно: в составе валовой формы Zn количество непрочно связанных с почвой форм Zn растет, при этом в группе непрочно связанных соединений Zn этот рост происходит за счет увеличения доли комплексной формы Zn, на фоне высокого относительного содержания специфически сорбированной формы Zn и при снижении доли обменной формы Zn. При этом при изучении последействия в 1992 – 2011 гг. непрочно связанные соединений Zn представлены прежде всего специфически сорбированной, а также обменной формой, то после возобновления опыта к 2016 – 2017 гг. происходит существенное уменьшение относительного количества данных форм на фоне увеличения доли комплексной формы Zn, связанной с органическим веществом. Это указывает на тот факт, что процессы трансформации форм ТМ в почве после окончания внесения удобрений (в том числе в связи с изменением кислотности почвы) идут медленно, в сторону увеличения доступности подвижных форм для растений.. Приведем аналогичные данные для описания временной динамики непрочно связанных соединений Cu при изучении последействия (Приложение, таблица 9). На примере динамики изменения относительных величин прочно связанных и непрочно связанных соединений Cu при изучении последействия в 1992 – 2011 гг. и на фоне возобновленного опыта СШ 5М описанная тенденция проявляется еще более отчетливо. Наблюдения над динамикой соотношения прочно связанных и непрочно связанных с почвой форм Zn, Cu в опыта при изучении последействия показывают, что с течением времени за 25 лет растет содержание непрочно связанных форм и уменьшается количество прочно связанных, при этом наиболее значительно возрастает относительное содержание комплексной формы Cu, Zn и снижается - специфически сорбированной и обменной форм Zn, Cu. Следует также отметить, что данный процесс идет неравномерно, сначала исследуемые элементы переходят в специфически сорбированную форму, процесс связан с изменением кислотности, и усиливается с возобновлением опыта СШ 5М - после 15 лет в почве начинают преобладать доступные для растений комплексные (связанные с органическим веществом почвы) формы Cu, Zn.. Были проанализированы показатели качество растительной продукции с учетом факторов, влияющих на него. Среднемесячные температура и количество осадков 2013, 2016 и 2017 г. и их сопоставление со среднемноголетними значениями приведены в Приложении (таблицы 10, 11). Всего проанализированы данные по 49 растительным пробам на анализ качества продукции (методом инфракрасной спектрометрии), 36 проб на содержание меди и цинка (методом пламенной фотометрии), размещенные в Приложении (таблицы 12, 15). Из них сопряженных результатов анализа агрохимических свойств почвы (в том числе содержания цинка и меди в разных формах) и пшеницы озимой (качество продукции и содержание меди и цинка) 2016 - 2017 гг. получено 20; данных по качеству продукции и содержанию меди и цинка в пробах в многолетних травах 2013 и 2016 гг. – 11 (Приложение, таблица 14).. Сводная таблица результатов анализа качества продукции (Приложение, таблица 12) и корреляционная матрица по сырью в связи с агрохимическими показателями почвы, Zn, Cu в растениях и урожайностью (Приложение, таблица 13) приведены в Приложении.. Агрохимические свойства почвы влияют на урожайность. Результаты иллюстрируются на примере влияния показателей подвижных фосфора и калия в почве на урожайность пшеницы озимой (2016 – 2017 гг.), рисунок 6.. . Рисунок 6. Зависимость урожайности культуры (зерно пшеницы 2016 – 2017 гг., ц/га) в пересчете на сухое вещество от количества подвижного фосфора (Р2O5) в почве (мг/кг). Качество продукции также связано с агрохимическими показателями почвы. Однако прямая зависимость существует для качества продукции только с показателями гумуса: качество продукции (содержание белка, клетчатки, дисахариды, зольность) растут при увеличении количества органического вещества в пахотном слое почвы. При повышении гидролитической кислотности качество продукции падает (рисунки 7, 8).. . Рисунок 7. Зависимость белка (%) в зерне пшенице озимой от Hr почвы (мг-экв/100г). . Рисунок 8. Связь зольности (%) в зерне пшенице озимой с Hr почвы (мг-экв/100г). Сделанные наблюдения подтверждаются данными корреляционного анализа (непараметрическая статистика, критерий Спирмена). По результатам корреляционного анализа, отражающего меру взаимовлияний (близости) показателей урожайности, качества продукции, агрохимических свойств почвы и форм Cu, Zn в почве и растениях, прямая зависимость связывает качество продукции (содержание дисахаридов, белка, золы, клетчатки) с показателями pH: при росте pH качество продукции также повышается. Содержание белка, золы, дисахаридов в продукции коррелируют с ростом значений Zn в растительном сырье. При росте содержания Zn в растениях в нем наблюдается также и повышение содержания белка, протеина, зольности, дисахаридов. Такой же зависимости между содержанием Cu в растениях и качеством продукции не наблюдается. Качество продукции связано прямой корреляцией прежде всего с ростом содержания в почве Cu, Zn специфически сорбированных форм, однако при одновременном росте Hr растения не могут усваивать данные подвижные формы, связывающиеся с оксидами и гидроксидами металлов. Также по пробам пшеницы озимой с высокой долей статистической вероятности видно, что при росте в продукции протеина и зольности в ней одновременно снижается содержание крахмала.. Пшеницу второго класса по содержанию белка (Приложение, таблица 14) получали на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрений, в первую очередь 7-ом (100 т/га навоза + 3 NPK) без актуального фона, а также 9 (100 т/га навоза) при внесении минеральных удобрений (N90 P90 K90). Содержание белка соответствовало третьему классу пшеницы на вариантах 6, 9, 5, 2 поля 2, с отсутствием актуального фона удобрений. Таким образом, можно говорить, что по совокупности причин – предшественники, условия сельхозгода, последействие доз органических (варианты 2, 9) и органо-минеральной (варианты 5, 6) системы удобрений поле 2 на данных вариантах дает продукцию более высокого качества по протеину в 2017 году, отражая лучшие погодные условия 2017 года. На содержание белка сказались лучшие условия окультуренности поля 2, возможно – влияние предшественников (многолетние травы), влияние последействия высоких доз органо-минеральной и органической системы удобрения и только опосредованное влияние актуального фона минеральных удобрений в плане влияния на качество сырья.. На вариантах с интенсивной системой удобрений получена пшеница четвертого класса по содержанию белка (поле 2, варианты 1, 2, 6, с актуальным фоном N90 P90 K90; а также варианты первого поля 7, 5, с последействием высоких доз органо-минеральной и органической системы удобрений или контрольной 1 с актуальным фоном N90 P90 K90 во всех трех случаях) и пятого класса относятся - поле 1, контроль (вариант 1) и с актуальным минеральным фоном N90P90K90, образцы с вариантов без внесения удобрений 9, 7, 5, 1.. Данные об урожайности и качестве сырья за 2013 и 2016 г. по образцам многолетних трав сведены в таблице 17 Приложения. Результаты анализа указывают, что наиболее высокие показатели урожайности и качества продукции для многолетних трав реализуются при наличии двух факторов - на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрения и при актуальном фоне удобрений. Однако полученные различия в данных не выходят, как правило, за пределы НСР и не являются статистически значимыми, прослеживаясь только в виде тенденции.. Содержание меди и цинка в образцах растительной продукции приведены в таблице 15 Приложения, вынос (на примере пшеницы озимой, зерно, 2016, 2017 гг.)– в таблице 16 Приложения. Приведённые результаты показывают, что содержание Zn изменялось от 58,70 до 8,91 мг/кг в пшенице озимой, и от 17,53 до 5,71 в многолетних травах, Cu – от 7,76 до 6,03 мг/кг в пшенице озимой и от 3,52 до 3,4 в многолетних травах. Следовательно, в среднем, накопление и Zn, и Cu в зерне пшеницы озимой в данных образцах существенно выше, чем в многолетних травах. Наиболее высокие значения по Zn присущи образцам на вариантах в зоне последействия минимальных доз удобрений или вариантах контроля, то есть появление Zn может регулироваться иными причинами, чем последействие высоких доз удобрений. Наиболее высокие значения по накоплению Zn в пшенице озимой имеет второе поле, остальные высокие значения встречаются на вариантах 2, 9, 6 без актуального фона и на вариантах 1, 5 с актуальным фоном внесения удобрений. Наиболее высокие значения Cu в растительной продукции появляются, как правило, совокупно с высокими значениями также и накопления Zn, характеризуют прежде всего второе поле или делянки с последействием высоких доз органо-минеральной системы применения удобрений (варианты 9, 7, 5 поля 1). Наименьшее накопление Cu происходит при наличии актуального минерального фона удобрений на вариантах с последействием органических удобрений. Для многолетних трав наиболее высокий уровень накопления Cu присущ второму полю и также продукции делянок с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрения, наиболее низкий показатель накопления Cu дают делянки первого поля с последействием (без актуального фона) также высоких доз органо-минеральной системы удобрений. При этом различия в накоплении меди как пшеницей озимой, так и многолетними травами, в отличие от накопления Zn, невелики.. Ранее в исследовании уже было указано, что более высокие количества подвижных микроэлементов в почве поля 2, а также их переход в сырье определяет, видимо, более высокое качество и класс получаемой на данном поле пшеницы озимой (даже без наличия актуального фона удобрений и без высоких значений органического вещества почвы), рисунок 9.. . Рисунок 9. Содержание белка (%) и Zn (мг/кг) в зерне пшеницы озимой (2016 - 2017 гг.). Повышение содержания Zn в зерне коррелирует с ростом содержания дисахаридов в зерне пшеницы озимой (рисунок 10).. . Рисунок 10. Содержание Zn (мг/кг) и дисахариды (%) в зерне пшеницы озимой (2016-2017 гг.). Приведем корреляции содержания и выноса Cu, Zn в растительном сырье, а также в многолетних травах, зерне пшеницы проб 2016, 2017 гг. (Приложение, таблицы 17, 18).. Взаимосвязь урожайности, содержания Cu, Zn в сырье и выноса Zn, Cu сырьем была проанализирована, выявлен высокий коэффициент корреляции между урожайностью и выносом меди (r=0,979), а также выносом цинка (r=0,604). Значимая взаимосвязь обнаруживается между значениями выноса меди и цинка между собой (r=0,606), цинка в растениях и выноса цинка (r=0,780). Обратная зависимость существует между собержанием меди в растениях и урожайностью в пересчете на обсолютное сухое вещество (r= - 0,539).. Прямая зависимость объединяет урожайность пшеницы и вынос Cu, Zn в продукции (рисунок 11). При этом с повышением урожайности растет не только вынос каждого из микроэлементов, но и показатели их выноса связаны между собой. При этом вынос Cu в зерне возрастал линейно с ростом урожайности, увеличиваясь практически вдвое, а вынос Zn вначале обнаружил линейный рост, а затем, при достижении средних значений показателя для зерна [15], стабилизировался на уровне 60-70 г/га при урожайности выше 4,5 т/га. Во всех вариантах содержание Zn и Сu остается меньше ПДК [15], что позволяет cделать вывод: при росте выноса Cu и Zn с ростом урожайности (в несколько раз) нет угрозы накопления данных элементов выше допустимых концентраций. В многолетних травах, если исключить аномально высокое значение по Zn, зависимость между урожайностью и выносом не прослеживается.. . Рисунок 11. Вынос Cu и Zn при росте урожайности пшеницы озимой (2016-2017 гг.). На рисунке 12 сведены данные выноса Cu зерном и подвижные формы Cu: вынос коррелирует с увеличением в почве комплексных форм Cu.. . Рисунок 12. Взаимосвязь форм Cu в почве, растениях (мг/кг) и вынос меди пшеницей (г/га). Выводы. В результате исследования реализованы поставленная цель и задачи, по итогам анализа, вычислений, статистической обработки сделаны выводы о содержании, динамике изменений подвижных форм Zu, Cu в почве, их биодоступности, влиянии на качество продукции.. В длительном полевом опыте на дерново-среднеподзолистой тяжелосуглинистой почве в 1992-2017 гг. прослежено последействие внесённых в течение 28 лет возрастающих доз органических и органоминеральных удобрений с точки зрения изменения агрохимических свойств почвы и трансформаци состава форм Cu, Zn. Установлено увеличение кислотности почвы, со снижением рНKCl с 6, 1 - 6, 3 до 5, 6 - 5, 7 и ростом в полтора раза гидролитической кислотности. Подвижность фосфора снижается в последействии на две градации, а калия – на одну градацию обеспеченности, рост данных показателей отмечен при возобновлении применения удобрений с 2011 г. Содержание гумуса более стабильно, отражая как достигнутый во времени проведения опыта уровень окультуренности, так и влияние культур севооборота в последействии удобрений. Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между содержанием подвижных форм фосфора и калия, что связано с их сопряженным изменением при росте окультуренности почвы.. Применение удобрений обусловило 10 - 20 % увеличение содержания валовых форм меди, наибольшее для вариантов с максимальными дозами органических удобрений, при сравнительном постоянстве содержания валовых форм цинка. На момент прекращения внесения удобрений (1992 г.) в составе соединений цинка в почве доминируют прочносвязанные формы, содержание непрочно связанных форм не превышает 15 - 20 %, среди них абсолютно преобладают специфически сорбированные соединения. Подвижность соединений цинка в последействии применения удобрений возрастает, процесс значительно ускорился в последние годы. Такая тенденция наблюдается для всех вариантов опыта, на долю непрочно связанных форм в настоящее время приходится до половины соединений цинка, главным образом за счет 6-7-кратного увеличения содержания комплексов цинка, связанных с органическим веществом. Аналогичные процессы более отчётливо выражены для соединений меди. При начальном небольшом содержании прочно сорбированных форм (40% в 1992 г.), к 2016-17 гг. они практически отсутствуют, а увеличение абсолютного содержания комплексов меди, связанных с органическим веществом приводит к их превышению над специфически сорбированными формами в 3-5 раз, начиная с 2016 г.. Более контрастно данные процессы наблюдаются при анализе динамики относительных форм непрочно связанных соединений. При сравнительном постоянстве относительной доли обменной формы цинка, изменение которой не превышает 10% за 25 лет последействия доля специфически сорбированных соединений снижается при сопряженном росте комплексных форм с органических веществом, до 50 - 60 % от всех непрочно связанных соединений (НС) цинка. Для меди наблюдается рост форм комплексов с органическим веществом с 30 - 40 до 75 - 80 % от общего содержания НС за счёт снижения доли специфически сорбированных форм, при этом относительная доля обменных соединений меди не превышает 1 - 3 %. Динамика непрочно сорбированных соединений определяется протеканием процессов подкисления почвы, увеличивающих содержание непрочно сорбированной меди и цинка, связывающихся с оксидами и гидроксидами металлов и содержанием органического вещества почвы, контролирующего накопление комплексных форм меди и цинка, что подтверждается результатами корреляционного анализа. Выявленная корреляция между накоплением валовых и подвижных форм Сu и Zn свидетельствует об едином источнике их накопления в почве.. Накопление Zn и Cu в зерне пшеницы озимой было выше, чем в биомассе многолетних трав – 9 - 22 и 6 - 17 мг/кг Zn; 6, 0 - 7, 7 и 3, 4 - 3, 5 мг/кг Cu, соответственно. Двукратное увеличение содержания Zn в зерне обуславливало рост содержания белка с 8 до 14 %, а дисахаридов – втрое – с 1, 5 до 4, 5 %. Такой же зависимости между содержанием Cu в растениях и качеством продукции не наблюдается. Различия в накоплении меди как пшеницей озимой, так и многолетними травами, в отличие от накопления Zn, невелики. Вынос меди зерном пшеницы в связи с этим возрастал линейно с ростом урожайности, увеличиваясь практически вдвое. Он коррелировал прежде всего с увеличением в почве подвижных комплексных форм меди, связанных с органическим веществом. Вынос цинка вначале обнаруживал линейный рост с ростом урожайности, а затем, при достижении средних значений данного показателя для зерна, стабилизировался на уровне 60 - 70 г/га при урожайности выше 4, 5 т/га. В случае многолетних трав такой зависимости между урожайностью и выносом не прослеживается. Во всех вариантах содержание Zn и Сu оставалось меньше ПДК, в связи с чем при наблюдаемом росте выноса меди и цинка с ростом урожайности нет угрозы накопления данных элементов выше допустимых концентраций.. Урожайность зерна пшеницы возрастала более чем в 1, 5 раза при повышении содержания подвижного фосфора и калия, что может регулироваться возобновлением применения удобрений в опыте. Качество продукции отражало влияние комплекса показателей: уровня окультуренности на последействии высоких доз органоминеральной и органической системы удобрений, протекания процессов подкисления почвы, севооборота и доли многолетних трав и только опосредованно – доз применяемых минеральных удобрений. Содержание белка в зерне изменялось от 2 до 5 класса, при этом пшеницу 2-го класса по содержанию белка получали на вариантах с последействием высоких доз органо-минеральной системы удобрения, а также - органических удобрений при возобновлении внесении минеральных.. Благодарности: Авторы благодарят за ценные научно-методические консультации в процессе проведения исследования в апреле - мае 2018 года и за ознакомление с итоговым текстом работы, коррекцию раздела "Выводы" доктора биологических наук, профессора РАН, заведующего кафедрой агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ В.А.Романенкова, а также главного научного сотрудника ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова Л.К.Шевцову за общую поддержку и за консультации по опыту "Стационар Щебанцево № 5" и "Стационар Шебанцево № 5 модифицированный".. Целевая аудитория: Исследование может быть использовано в почвоведении, биогеохимии, сельском хозяйстве, растениеводстве, в том числе для уточнения механизмом последействия высоких доз органо-минеральной системы удобрения на накопление и трансформацию форм и соединений Cu, Zn в почве с течением времени, при нормировании внесения микроэлементов с целью повышения качества продукции.. Потенциальные читатели: научные работники, агрономы, агрохимики, специалисты в биохимии и физиологии растений, почвоведы.. ПРИЛОЖЕНИЕ. Таблица 1 - Содержание гумуса в почвенных пробах 1992 – 2017 гг., последействие, экстенсивный и интенсивный вариант использования удобрений. №. год. № поля. Доза последействия. фон. с/у (1)/ б/у (0). Гумус (%). 1. 1992. 1. Контроль. 0. 1,65. 2. 2004. 1. 0. 1,74. 3. 2011. 1. 0. 1,79. 4. 2014. 1. 1. 2,48. 5. 2016. 1. 0. 2,20. 6. 2016. 1. 1. 2,00. 7. 2017. 2. 0. 1,70. 8. 2017. 2. 1. 2,00. Средн.. 1,95. НСР0,05. 0,33. 9. 1992. 1. 1 орг. 0. 2,24. 10. 2004. 1. 0. 1,56. 11. 2011. 1. 0. 1,95. 12. 2014. 1. 1. 3,02. 13. 2017. 2. 0. 1,80. 14. 2017. 2. 1. 1,90. Средн.. 2,08. НСР0,05. 0,72. 15. 2004. 1. 1 орг + 3NPK. 0. 1,18. 16. 2011. 1. 0. 1,79. 17. 2014. 1. 1. 2,69. 18. 2016. 1. 0. 1,80. 19. 2016. 1. 1. 2,00. 20. 2017. 2. 0. 2,00. 21. 2017. 2. 1. 2,30. Средн.. 1,97. НСР0,05. 0,59. 22. 1992. 1. 2 орг + 1 NPK. 0. 2,54. 23. 2004. 1. 0. 1,77. 24. 2014. 1. 1. 2,88. 25. 2017. 2. 0. 1,90. 26. 2017. 2. 1. 2,80. Средн.. 2,38. НСР0,05. 0,83. 27. 1992. 1. 2 орг + 3 NPK. 0. 1,79. 28. 2004. 1. 0. 1,83. 29. 2011. 1. 0. 1,83. 30. 2014. 1. 1. 2,49. 31. 2016. 1. 0. 2,10. 32. 2016. 1. 1. 1,80. 33. 2017. 2. 0. 2,20. 34. 2017. 2. 1. 2,20. Средн.. 2,03. НСР0,05. 0,30. 35. 1992. 1. 2 орг. 0. 1,66. 36. 2004. 1. 0. 1,70. 37. 2011. 1. 0. 1,68. 38. 2014. 1. 1. 2,59. 39. 2016. 1. 0. 2,00. 40. 2016. 1. 1. 1,90. 41. 2017. 2. 0. 2,00. 42. 2017. 2. 1. 2,10. Средн.. 1,95. НСР0,05. 0,35. Среднее выборки. 2,04. НСР0,05. 0,17. . Таблица 2 - Содержание К2О в почве (мг/кг), варианты 1, 7, 9 в 1992, 2004, 2011, 2016, 2017 гг., поля 1 - 2. вариант. Количество К2О в почве варианта с учетом года и наличия/отсутствия внесения удобрений (0/1). 1992. 2004. 2011. 2016 (0). 2016 (1). 2017 (0). 2017 (1). 1. 91. 75. 77. 119. 141. 101. 141. 7. 169. 177. 174. 190. 198. 187. 198. 9. 117. 77. 103. 172. 168. 82. 196. Таблица 3 - Попарное сравнение данных содержания K2O, варианты 1, 7, 9 (с интенсивной – 1/ экстенсивной – 0 системой внесения удобрений). Коэффициент Спирмена (Statistica 13.3). Название пары сравнения (сопоставляемые варианты по дозам последействия). Корреляция (близость/удаленность) попарно рядов данных по Spearman. при p <0,05. Название пары сравнения (сопоставляемые варианты по дозам последействия). Корреляция попарно рядов данных по Spearman. при p <0,05. N. Spearman R. N. Spearman R. 1992 & 2004. 3. 1,00. 2016 0 & 2016 1. . 3. 1,00. 1992 & 2011. 3. 1,00. 2016 0 & 2017 0. . 3. 0,50. 1992 & 2016 0. 3. 1,00. 2016 0 & 2017 1. . 3. 1,00. 1992 & 2016 1. 3. 1,00. 2016 1 & 1992. . 3. 1,00. 1992 & 2017 0. 3. 0,50. 2016 1 & 2004. . 3. 1,00. 1992 & 2017 1. 3. 1,00. 2016 1 & 2011. . 3. 1,00. 2004 & 1992. 3. 1,00. 2016 1 & 2016 0. . 3. 1,00. 2004 & 2011. 3. 1,00. 2016 1 & 2017 0. . 3. 0,50. 2004 & 2016 0. 3. 1,00. 2016 1 & 2017 1. . 3. 1,00. 2004 & 2016 1. 3. 1,00. 2017 0 & 1992. . 3. 0,50. 2004 & 2017 0. 3. 0,50. 2017 0 & 2004. . 3. 0,50. 2004 & 2017 1. 3. 1,00. 2017 0 & 2011. . 3. 0,50. 2011 & 1992. 3. 1,00. 2017 0 & 2016 0. . 3. 0,50. 2011 & 2004. 3. 1,00. 2017 0 & 2016 1. . 3. 0,50. 2011 & 2016 0. 3. 1,00. 2017 0 & 2017 1. . 3. 0,50. 2011 & 2016 1. 3. 1,00. 2017 1 & 1992. . 3. 1,00. 2011 & 2017 0. 3. 0,50. 2017 1 & 2004. . 3. 1,00. 2011 & 2017 1. 3. 1,00. 2017 1 & 2011. . 3. 1,00. 2016 0 & 1992. 3. 1,00. 2017 1 & 2016 0. . 3. 1,00. 2016 0 & 2004. 3. 1,00. 2017 1 & 2016 1. . 3. 1,00. 2016 0 & 2011. 3. 1,00. 2017 1 & 2017 0. . 3. 0,50. . Таблица 4 - Динамика различных форм меди и цинка по вариантам опыта в 1992 – 2017 гг. (мг/кг). год. поле. вар.. фон с/у(1)/ б/у(0). Cu вал.. Cu обм.. Cu спец. сорб.. Cu св. с ОВ. Zn вал.. Zn обм.. Zn спец. сорб.. Zn св. с ОВ. 1992. 1. 1. 0. 8,60. 0,14. 2,86. 2,16. 36,30. 1,22. 3,38. 1,58. 2004. 1. 0. 8,10. 0,20. 2,70. 2,30. 34,20. 1,15. 3,55. 0,85. 2011. 1. 0. 7,90. 0,23. 2,37. 1,97. 35,90. 1,15. 3,35. 0,25. 2016. 1. 0. 5,60. 0,10. 1,80. 6,80. 23,00. 0,90. 3,70. 3,30. 2016. 1. 1. 5,10. 0,07. 1,83. 6,53. 21,00. 0,80. 4,50. 3,50. 2017. 2. 0. 6,50. 0,07. 2,93. 15,93. 23,60. 1,20. 4,00. 7,20. 2017. 2. 1. 8,60. 0,08. 3,82. 10,82. 30,20. 1,00. 6,40. 5,10. . средн.. 7,20. 0,13. 2,62. 6,64. 29,17. 1,06. 4,13. 3,11. НСР0,05. 1,84. 0,08. 0,89. 6,62. 8,29. 0,21. 1,37. 3,12. 1992. 1. 2. 0. 7,40. 0,11. 3,29. 1,89. 34,90. 1,60. 2,50. 0,30. 2004. 1. 0. 8,00. 0,24. 2,96. 2,46. 36,50. 1,17. 3,33. 0,63. 2011. 1. 0. 7,80. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 33,80. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 2017. 2. 0. 6,70. 0,07. 3,43. 9,13. 24,20. 1,70. 4,80. 3,50. 2017. 2. 1. 8,40. 0,08. 2,62. 18,02. 28,50. 1,30. 6,10. 7,70. средн.. 7,66. 0,13. 3,08. 7,88. 31,58. 1,44. 4,18. 3,03. НСР0,05. 1,05. 0,13. 0,59. 12,23. 8,30. 0,40. 2,59. 5,57. 2004. 1. 5. 0. 7,30. 0,18. 2,42. 2,02. 33,50. 1,37. 2,63. -0,07. 2011. 1. 0. 6,20. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 26,10. Н.д.. Н.д.. Н.д.. 2016. 1. 0. 6,80. 0,09. 2,01. 19,91. 23,00. 1,40. 3,70. 9,40. 2016. 1. 1. 7,80. 0,14. 2,26. 19,56. 22,40. 1,20. 3,40. 6,90. 2017. 2. 0. 9,90. 0,15. 3,75. 17,55. 28,80. 1,50. 6,00. 7,90. 2017. 2. 1. 9,50. 0,12. 2,18. 16,78. 28,80. 1,70. 3,80. 6,00. . средн.. 7,92. 0,14. 2,52. 15,16. 27,10. 1,43. 3,91. 6,03. НСР0,05. 2,10. 0,05. 0,99. 10,55. 5,88. 0,26. 1,78. 5,13. 1992. 1. 6. 0. 7,20. 0,14. 2,86. 1,36. 32,40. 1,55. 3,35. 0,05. 2004. 1. 0. 6,40. 0,12. 2,48. 0,88. 26,20. 1,50. 3,20. 0,40. 2017. 2. 0. 10,60. 0,17. 3,63. 15,23. 28,20. 2,80. 5,20. 5,80. 2017. 2. 1. 7,60. 0,18. 3,62. 10,72. 21,80. 1,60. 5,80. 4,40. . средн.. 7,95. 0,15. 3,15. 7,05. 27,15. 1,86. 4,39. 2,66. НСР0,05. 3,60. 0,05. 1,12. 13,92. 8,65. 1,23. 2,57. 5,64. 1992. 1. 7. 0. 6,60. 0,13. 2,67. 1,27. 25,30. 1,47. 3,63. -0,17. 2004. 1. 0. 6,70. 0,19. 2,91. 2,21. 26,60. 1,65. 3,75. -0,15. 2011. 1. 0. 6,60. 0,19. 2,31. 2,31. 26,80. 1,49. 2,21. 1,11. 2016. 1. 0. 7,90. 0,19. 2,31. 9,71. 25,20. 2,20. 4,10. 5,40. 2016. 1. 1. 8,00. 0,19. 2,61. 9,11. 23,00. 1,10. 3,30. 4,20. 2017. 2. 0. 10,40. 0,19. 3,91. 13,61. 29,60. 1,80. 6,40. 5,90. 2017. 2. 1. 8,70. 0,18. 2,52. 11,72. 24,80. 1,40. 4,00. 5,20. средн.. 7,84. 0,18. 2,75. 7,13. 25,90. 1,59. 3,91. 3,07. НСР0,05. 1,77. 0,03. 0,70. 6,43. 2,60. 0,44. 1,60. 3,42. 1992. 1. 9. 0. 7,60. 0,12. 3,18. 1,88. 27,50. 1,37. 4,53. 0,83. 2004. 1. 0. 7,30. 0,18. 5,12. 2,92. 27,90. 1,70. 3,00. 0,50. 2011. 1. 0. 8,80. 0,14. 2,06. 2,16. 31,90. 1,21. 3,19. 0,99. 2016. 1. 0. 8,10. 0,07. 3,03. 8,83. 30,00. 2,00. 0,50. 4,40. 2016. 1. 1. 10,40. 0,05. 1,55. 15,05. 24,20. 1,70. 2,70. 5,70. 2017. 2. 0. 9,00. 0,06. 3,34. 14,64. 25,40. 1,70. 5,00. 6,50. 2017. 2. 1. 9,00. 0,05. 2,05. 18,25. 23,20. 1,80. 3,80. 7,10. средн.. 8,60. 0,10. 2,90. 9,10. 27,16. 1,64. 3,25. 3,72. НСР0,05. 1,32. 0,06. 1,50. 8,76. 3,96. 0,34. 1,86. 3,64. Среднее выборки. 7,86. 0,14. 2,81. 8,70. 27,91. 1,48. 3,91. 3,59. НСР0,05 выборки. 0,63. 0,03. 0,35. 3,14. 2,15. 0,18. 0,61. 1,39. . Таблица 5 - Содержание непрочно связанных форм Cu, Zn в почве (мг/кг) в зависимости от дозы последействия. Показатель. Доза, для которой изучается последействие. Контроль. 1 орг. 1 орг+3NPK. 2 орг+1NPK. 2 орг+3NPK. 2 орг. Cu валов.. 7,2. 7,66. 7,92. 7,95. 7,84. 8,6. Cu обмен.. 0,13. 0,13. 0,14. 0,15. 0,18. 0,1. Cu спец.сорб.. 2,62. 3,08. 2,52. 3,15. 2,75. 2,9. Cu св. с орг.в-вом. 6,64. 7,88. 15,16. 7,05. 7,13. 9,1. Zn валов.. 29,17. 31,58. 27,1. 27,15. 25,9. 27,16. Zn обмен.. 1,06. 1,44. 1,43. 1,86. 1,59. 1,64. Zn спец.сорб.. 4,13. 4,18. 3,91. 4,39. 3,91. 3,25. Zn св. с орг.в-вом. 3,11. 3,03. 6,03. 2,66. 3,07. 3,72. . Таблица 6 - Корреляции показателей содержания Cu и Zn в почве – сравнение по вариантам (ср.). Доза последействия. Spearman Rank Order Correlations.. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Контроль. 1 орг. 1 орг+3NPK. 2 орг+1NPK. 2 орг+3NPK. 2 орг. Контроль. 1,00. 0,95. 0,95. 0,98. 1,00. 0,95. 1 орг. 0,95. 1,00. 0,93. 0,98. 0,95. 0,93. 1 орг+3NPK. 0,95. 0,93. 1,00. 0,90. 0,95. 1,00. 2 орг+1NPK. 0,98. 0,98. 0,90. 1,00. 0,98. 0,90. 2 орг+3NPK. 1,00. 0,95. 0,95. 0,98. 1,00. 0,95. 2 орг. 0,95. 0,93. 1,00. 0,90. 0,95. 1,00. . . . Рисунки 1-3. Динамика изменений обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм меди на последействии вариантов 1, 7, 9 в 1992-2017 гг. (мг/кг). . Рисунки 4 - 6. Динамика изменений обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм цинка на последействии вариантов 1, 7, 9 в 1992-2017 гг. (мг/кг). . Рисунки 7 - 9. Динамика изменений прочно сорбированной, непрочно сорбированной, обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм меди на вариантах 1, 7, 9 в 1992-2017 гг., %. . Рисунки 10 - 12. Динамика изменений прочно сорбированной, непрочно сорбированной, обменной, специфически сорбированной и связанной с органическим веществом форм цинка на вариантах 1, 7, 9 в 1992-2017 гг., %. Таблица 7 - Трансформация соединений меди при последействии длительного применения. удобрений в дерново-подзолистой почве и интенсивной модели внесения удобрений (N90 P90 K90). Доза удобрения. . . 1992. 2016. 1992. 2016. контроль. . . . . 100 т/га навоза + 3NPK. . . . . 100 т/га навоза. . . . . . . Рисунок 13. Изменение соотношения непрочно связанных форм Zn по годам для контрольного варианта опыта (вариант 1, %). . Рисунок 14. Изменение соотношения непрочно связанных форм Zn по годам в варианте 7 (%). . Рисунок 15. Изменение соотношения непрочно связанных форм Zn по годам в динамике опыта (вариант 9, %). . Рисунок 16. Изменение соотношения непрочно связанных форм Cu по годам в динамике опыта (вариант 1, %). . Рисунок 17. Изменение соотношения непрочно связанных форм Cu по годам в динамике опыта (вариант 7, %). Таблица 8 - Соотношение подвижных форм Zn в группе непрочно связанных соединений ТМ, %. Год исп.. поле. вар.. п/. дейст.. фон с/у(1)/. б/у(0). Zn вал,. мг/кг. Н/С\*. П/С\*\*. П/С,%. Н/С,%. Zn обмен.%. Zn сп. сорб. %. Zn компл.%. 1992. 1. 1. контр.. 0. 36. 6. 30. 83. 17. 20. 55. 26. 2004. 1. 0. 34. 6. 29. 84. 16. 21. 64. 15. 2011. 1. 0. 36. 5. 31. 87. 13. 24. 71. 5. 2016. 1. 0. 23. 8. 15. 66. 34. 11. 47. 42. 2016. 1. 1. 21. 9. 12. 58. 42. 9. 51. 40. 2017. 2. 0. 24. 12. 11. 47. 53. 10. 32. 58. 2017. 2. 1. 30. 13. 18. 59. 41. 8. 51. 41. 1992. 1. 2. 1 орг. 0. 35. 4. 31. 87. 13. 36. 57. 7. 2004. 1. 0. 37. 5. 31. 86. 14. 23. 65. 12. 2017. 2. 0. 24. 10. 14. 59. 41. 17. 48. 35. 2017. 2. 1. 29. 15. 13. 47. 53. 9. 40. 51. 2004. 1. 5. 1 орг + 3NPK. 0. 34. 4. 30. 88. 12. 35. 67. 0. 2016. 1. 0. 23. 15. 9. 37. 63. 10. 26. 65. 2016. 1. 1. 22. 12. 11. 49. 51. 10. 30. 60. 2017. 2. 0. 29. 15. 13. 47. 53. 10. 39. 51. 2017. 2. 1. 29. 12. 17. 60. 40. 15. 33. 52. 1992. 1. 6. 2 орг + 1 NPK. 0. 32. 5. 27. 85. 15. 31. 68. 1. 2004. 1. 0. 26. 5. 21. 81. 19. 29. 63. 8. 2017. 2. 0. 28. 14. 14. 51. 49. 20. 38. 42. 2017. 2. 1. 22. 12. 10. 46. 54. 14. 49. 37. 1992. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. . 0. 25. 5. 20. 81. 19. 30. 74. 0. 2004. 1. 0. 27. 5. 21. 80. 20. 31. 71. 0. 2011. 1. 0. 27. 5. 22. 82. 18. 31. 46. 23. 2016. 1. 0. 25. 12. 14. 54. 46. 19. 35. 46. 2016. 1. 1. 23. 9. 14. 63. 37. 13. 38. 49. 2017. 2. 0. 30. 14. 16. 52. 48. 13. 45. 42. 2017. 2. 1. 25. 11. 14. 57. 43. 13. 38. 49. 1992. 1. 9. 2 орг. 0. 28. 7. 21. 76. 24. 20. 67. 12. 2004. 1. 0. 28. 5. 23. 81. 19. 33. 58. 10. 2011. 1. 0. 32. 5. 27. 83. 17. 22. 59. 18. 2016. 1. 0. 30. 7. 23. 77. 23. 29. 7. 64. 2016. 1. 1. 24. 10. 14. 58. 42. 17. 27. 56. 2017. 2. 0. 25. 13. 12. 48. 52. 13. 38. 49. 2017. 2. 1. 23. 13. 11. 45. 55. 14. 30. 56. \*Н/С – непрочно связанные с почвой формы тяжелых металлов. \*\*П/С – прочно связанные с почвой соединения тяжелых металлов. . Таблица 9 - Соотношение подвижных форм Cu в группе непрочно связанных соединений ТМ, %. год. поле. вар.. п/дейст.. фон с/у(1)/ б/у(0). Cu вал,. мг/кг. П/С,%. Н/С, %. Cu обмен.,%. Cu сп. сорб.,%. Cu компл.,%. 1992. 1. 1. контр.. 0. 9. 40. 60. 3. 55. 42. 2004. 1. 0. 8. 36. 64. 4. 52. 44. 2011. 1. 0. 8. 42. 58. 5. 52. 43. 2016. 1. 0. 6. 0. 100. 1. 21. 78. 2016. 1. 1. 5. 0. 100. 1. 22. 77. 2017. 2. 0. 7. 0. 100. 0. 15. 84. 2017. 2. 1. 9. 0. 100. 1. 26. 74. 1992. 1. 2. 1 орг. 0. 7. 29. 71. 2. 62. 36. 2004. 1. 0. 8. 29. 71. 4. 52. 43. 2017. 2. 0. 7. 0. 100. 1. 27. 72. 2017. 2. 1. 8. 0. 100. 0. 13. 87. 2004. 1. 5. 1 орг + 3NPK. 0. 7. 37. 63. 4. 52. 44. 2016. 1. 0. 7. 0. 100. 0. 9. 90. 2016. 1. 1. 8. 0. 100. 1. 10. 89. 2017. 2. 0. 10. 0. 100. 1. 17. 82. 2017. 2. 1. 10. 0. 100. 1. 11. 88. 1992. 1. 6. 2 орг + 1 NPK. 0. 7. 39. 61. 3. 66. 31. 2004. 1. 0. 6. 46. 54. 3. 71. 25. 2017. 2. 0. 11. 0. 100. 1. 19. 80. 2017. 2. 1. 8. 0. 100. 1. 25. 74. 1992. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. 0. 7. 38. 62. 3. 66. 31. 2004. 1. 0. 7. 21. 79. 4. 55. 42. 2011. 1. 0. 7. 27. 73. 4. 48. 48. 2016. 1. 0. 8. 0. 100. 2. 19. 80. 2016. 1. 1. 8. 0. 100. 2. 22. 76. 2017. 2. 0. 10. 0. 100. 1. 22. 77. 2017. 2. 1. 9. 0. 100. 1. 17. 81. 1992. 1. 9. 2 орг. 0. 8. 32. 68. 2. 61. 36. 2004. 1. 0. 7. 0. 100. 2. 62. 36. 2011. 1. 0. 9. 50. 50. 3. 47. 50. 2016. 1. 0. 8. 0. 100. 1. 25. 74. 2016. 1. 1. 10. 0. 100. 0. 9. 90. 2017. 2. 0. 9. 0. 100. 0. 19. 81. 2017. 2. 1. 9. 0. 100. 0. 10. 90. . Таблица 10 - Температура воздуха за период вегетации по данным метеопоста пос. Барыбино (°С). Месяц. Сельхоз.год. 2013. 2016. 2017. Многолетние. сентябрь. 12,70. 13,80. 11,50. 10,30. октябрь. 6,90. 4,10. 4,30. 3,90. ноябрь. 1,40. 0,50. -4,90. -2,70. декабрь. -9,60. -1,30. -5,50. -7,70. январь. -8,70. -10,90. -8,50. -10,80. февраль. -4,20. -1,10. -4,80. -10,20. март. -6,60. -0,20. 2,10. -5,40. апрель. 6,10. 7,80. 5,70. 3,60. май. 16,70. 14,30. 11,40. 11,40. июнь. 19,90. 18,40. 15,40. 15,40. июль. 19,00. 20,70. 17,80. 17,70. август. 18,10. 19,30. 19,00. 16,00. Таблица 11 - Осадки за период вегетации по данным метеопоста пос. Барыбино, мм. Месяц. Год. 2013. 2016. 2017. Многолетние. сентябрь. 44,30. 114,80. 173,80. 58,00. октябрь. 125,00. 15,80. 34,70. 55,00. ноябрь. 54,00. 40,30. 127,00. 45,00. декабрь. 38,00. 71,20. 17,70. 42,00. январь. 52,00. 93,50. 42,40. 35,00. февраль. 27,00. 67,50. 34,00. 34,00. март. 70,00. 73,00. 67,10. 39,00. апрель. 39,00. 76,90. 57,10. 35,00. май. 131,00. 102,80. 92,00. 49,00. июнь. 35,00. 90,00. 148,10. 63,00. июль. 105,50. 88,90. 231,80. 78,00. август. 64,30. 279,60. 125,60. 74,00. Таблица 12 - Качество многолетних трав и зерновых культур 2013, 2016, 2017 гг., поле 1 – 2. культура. год. поле. вар.. фон. (с/у - 1; б/у - 0). Влага. (%). Белок. (%). Кл-ка. (%). Зола. (%). Крахм.. (%). Урож.. (ц/га). Ур.с/в.. (ц/га). Мн. травы. 2013. 1. 1. 0. 10,61. 14,08. 27,69. 6,36. 28,26. 72,75. 62,56. 2. 0. 10,12. 12,42. 27,41. 7,69. 28,62. 72,75. 62,56. 6. 0. 10,17. 16,03. 22,77. 7,73. 22,57. 72,75. 62,56. 7. 0. 10,25. 15,82. 23,69. 7,79. 22,82. 72,75. 62,56. 8. 0. 9,94. 13,05. 24,75. 8,1. 24,88. 72,75. 62,56. Оз.. пшен.. 2013. 2. 1. 0. 8,28. 11,44. 1,2. 1,5. 55,9. 17. 14,62. 2. 0. 8,61. 11,1. 1,52. 1,65. 54,47. 17. 14,62. 7. 0. 8,67. 10,42. 1,64. 1,6. 57,09. 17. 14,62. 1. 1. 8,34. 10,62. 1,67. 1,62. 58,73. 26. 22,36. 2. 1. 8,26. 10,29. 1,58. 1,58. 59,71. 26. 22,36. 7. 1. 8,37. 10,73. 1,73. 1,64. 59,52. 26. 22,36. Оз.. пшен.. 2016. 1. 1. 0. 9,08. 8,51. 1,61. 1,49. 58,46. 31,3. 29,92. 5. 0. 8,96. 8,67. 1,62. 1,49. 59,3. 36,8. 33,37. 7. 0. 9,11. 8,68. 1,56. 1,48. 57,99. 34,7. 29,84. 9. 0. 9,2. 8,78. 1,54. 1,49. 57,58. 37,5. 32,25. 1. 1. 9,2. 9,41. 1,51. 1,5. 56,48. 49,6. 42,66. 5. 1. 8,79. 10,75. 1,43. 1,56. 55,62. 52,4. 45,06. 7. 1. 8,6. 11,35. 1,04. 1,49. 56,13. 52,5. 45,15. 9. 1. 9,04. 10,61. 1,48. 1,55. 55,91. 52,2. 44,89. Оз.. пшен.. 2017. 2. 1. 0. 8,69. 12,51. 2,1. 1,89. 56,71. 36. 30,96. 2. 0. 8,17. 12,75. 2,48. 2,11. 55,67. 37,8. 32,51. 5. 0. 8,08. 12,87. 2,14. 1,96. 57,45. 46,1. 39,65. 6. 0. 8,74. 13,07. 2,34. 2,04. 54,22. 42,5. 36,55. 7. 0. 8,49. 13,84. 2,44. 2,09. 54,21. 46,3. 39,82. 9. 0. 8,4. 13,02. 1,87. 1,88. 55,95. 38,6. 33,2. 1. 1. 8,48. 12,35. 1,24. 1,57. 57,81. 47,3. 40,68. 2. 1. 8,26. 12,3. 1,56. 1,71. 58,15. 46,2. 39,73. 5. 1. 7,91. 12,59. 1,47. 1,75. 58,62. 52,3. 44,98. 6. 1. 8,58. 12,43. 2,22. 1,98. 55,01. 53,3. 45,84. 7. 1. 8,71. 13,43. 2,36. 2. 53,01. 50,4. 43,34. 9. 1. 8,72. 13,54. 1,91. 1,93. 53,39. 46,2. 39,73. Мн. травы. 2016. 2. 1. 0. 10,45. 16,37. 24,9. 7,22. 24,6. 73,8. 63,47. 5. 0. 10,22. 18,11. 22,06. 8,92. 23,13. 72,9. 62,69. 7. 0. 10,29. 16,18. 25,43. 7,65. 27,44. 76,6. 65,88. 1. 1. 10,36. 17,47. 24,36. 7,36. 24,34. 84,3. 72,5. 5. 1. 10,29. 17,73. 23,52. 8,05. 22,48. 94,8. 81,53. 7. 1. 10,37. 16,79. 25,18. 7,12. 25,81. 96,2. 82,73. Ячмень. 2017. 1. 1. 0. 8,31. 9,12. 4,62. 2,19. 51,56. 31,23. 26,86. 2. 0. 8,81. 9,88. 4,67. 2,18. 52,26. 29,47. 22,76. 5. 0. 8,3. 10,03. 6,41. 2,59. 48,42. 32,77. 28,18. 6. 0. 8,3. 9,67. 4,84. 2,22. 52,1. 33,5. 28,81. 7. 0. 8,59. 10,15. 5,62. 2,42. 48,6. 36. 30,96. 9. 0. 8,39. 9,58. 5,02. 2,22. 52,2. 32,77. 28,18. 1. 1. 8,33. 10,51. 5,58. 2,37. 50,04. 48,03. 41,31. 2. 1. 8,51. 8,87. 6,08. 2,43. 47,22. 45,67. 39,28. 5. 1. 8,63. 11,11. 5,76. 2,57. 47,08. 49,03. 42,17. 6. 1. 8,12. 10,74. 5,8. 2,41. 51,39. 45,8. 39,4. 7. 1. 8,45. 10,14. 5,43. 2,32. 51,19. 47,9. 41,2. 9. 1. 8,94. 9,47. 4,68. 2,23. 49,64. 47,97. 41,25. Среднее. 8,95. 12,03. 7,79. 3,20. 47,95. 48,19. 41,49. НСР0,05. 0,32. 1,06. 3,80. 1. 5,24. 7,86. 6,75. Объем выборки. 49. 49. 49. 49. 49. 49. 49. Таблица 13 - Качество растительного сырья. Многолетние травы. 2013, 2016 гг., поле 1 – 2. год. поле. вар.. фон (с/у-1; б/у-0). Влага. (%). Прот.. (%). Кл-ка. (%). Зола. (%). Крахм.. (%). K2O. мг/кг. N. мг/кг. P2O5. мг/кг. Урож.. (ц/га). Урож. сух.. в-во. (ц/га). 2013. 1. 1. 1. 10,61. 14,08. 27,69. 6,36. 28,26. 4,3. 3,13. 0,54. 72,75. 62,56. 2. 1. 10,12. 12,42. 27,41. 7,69. 28,62. 3,69. 2,37. 0,55. 72,75. 62,56. 6. 1. 10,17. 16,03. 22,77. 7,73. 22,57. 4,5. 3,55. 0,71. 72,75. 62,56. 7. 1. 10,14. 14,5. 24,08. 8,04. 23,2. 3,92. 2,86. 0,68. 72,75. 62,56. 8. 1. 9,54. 13,05. 24,75. 8,1. 24,88. 3,5. 2,37. 0,7. 72,75. 62,56. 2016. 2. 1. 1. 10,36. 17,47. 24,36. 7,36. 24,34. 3,15. 3,17. 0,58. 73,8. 63,47. 5. 1. 10,29. 17,73. 23,52. 8,05. 22,48. 4,81. 3,49. 0,59. 72,9. 62,69. 7. 1. 10,37. 16,79. 25,18. 7,12. 25,81. 4,84. 3,51. 0,61. 76,6. 65,88. 1. 0. 10,45. 16,37. 24,9. 7,22. 24,6. 4,86. 3,56. 0,6. 84,3. 72,5. 5. 0. 10,22. 18,11. 22,07. 8,92. 23,13. 4,77. 3,38. 0,59. 94,8. 81,53. 7. 0. 10,29. 16,18. 25,43. 7,65. 27,44. 4,68. 3,14. 0,58. 96,2. 82,73. Среднее. 10,23. 15,70. 24,74. 7,66. 25,03. 4,27. 3,14. 0,612. 78,4. 67,42. НСР0,05. 0,25. 1,80. 1,61. 0,62. 2,10. 0,57. 0,41. 0,05. 8,58. 7,38. . Таблица 14 - Классы пшеницы в зависимости от количества белка (%), 2016 - 2017 гг. (ГОСТ 2016). год. поле. вар.. фон. с/у(1)/ б/у(0). урож.. ц/га. урож.. (с/в). ц/га. Вл.. (%). Жир экстр.. (%). Жир гидр.. (%). Белок. (%). Кл-ка. (%). Зола. (%). Крахм.. (%). Сах.. (%). . 2 класс, белок > 13, 5%. . 2017. 2. 7. 0. 46,3. 39,8. 8,49. 2,09. 2,86. 13,84. 2,44. 2,09. 54,21. 4,61. . 2017. 2. 9. 1. 46,2. 39,7. 8,72. 1,92. 2,69. 13,54. 1,91. 1,93. 53,39. 3,97. . 3 класс, белок > 12, 5%. . 2017. 2. 7. 1. 50,4. 43,3. 8,71. 1,86. 2,63. 13,43. 2,36. 2. 53,01. 4,38. . 2017. 2. 6. 0. 42,5. 36,6. 8,74. 2,03. 2,8. 13,07. 2,34. 2,04. 54,22. 4,42. . 2017. 2. 9. 0. 38,6. 33,2. 8,4. 1,87. 2,63. 13,02. 1,87. 1,88. 55,95. 4,15. . 2017. 2. 5. 0. 46,1. 39,7. 8,08. 1,87. 2,64. 12,87. 2,14. 1,96. 57,45. 4,26. . 2017. 2. 2. 0. 37,8. 32,5. 8,17. 1,89. 2,66. 12,75. 2,48. 2,11. 55,67. 4,58. . 2017. 2. 5. 1. 52,3. 45. 7,91. 1,6. 2,33. 12,59. 1,47. 1,75. 58,62. 4,33. . 2017. 2. 1. 0. 36. 31. 8,69. 1,83. 2,61. 12,51. 2,1. 1,89. 56,71. 4,14. . 4 класс, белок > 10%. . 2017. 2. 6. 1. 53,3. 45,8. 8,58. 1,86. 2,63. 12,43. 2,22. 1,98. 55,01. 4,61. . 2017. 2. 1. 1. 47,3. 40,7. 8,48. 1,48. 2,21. 12,35. 1,24. 1,57. 57,81. 3,93. . 2017. 2. 2. 1. 46,2. 39,7. 8,26. 1,57. 2,3. 12,3. 1,56. 1,71. 58,15. 4,13. . 2016. 1. 7. 1. 52,5. 45,2. 8,6. 1,61. 2,33. 11,35. 1,04. 1,49. 56,13. 2,99. . 2016. 1. 5. 1. 52,4. 45,1. 8,79. 1,73. 2,44. 10,75. 1,43. 1,56. 55,62. 2,87. . 2016. 1. 9. 1. 52,2. 44,9. 9,04. 1,71. 2,42. 10,61. 1,48. 1,55. 55,91. 3,21. . 5 класс, белок < 10%. . 2016. 1. 1. 1. 49,6. 42,7. 9,2. 1,89. 2,58. 9,41. 1,51. 1,5. 56,48. 2,56. . 2016. 1. 9. 0. 37,5. 32,3. 9,2. 2,02. 2,69. 8,78. 1,54. 1,49. 57,58. 1,88. . 2016. 1. 7. 0. 34,7. 29,8. 9,11. 1,92. 2,59. 8,68. 1,56. 1,48. 57,99. 2,62. . 2016. 1. 5. 0. 36,8. 33,4. 8,96. 1,9. 2,56. 8,67. 1,62. 1,49. 59,3. 2,31. . 2016. 1. 1. 0. 31,3. 29,9. 9,08. 2. 2,66. 8,51. 1,61. 1,49. 58,46. 2,4. . Среднее. 44,5. 38,5. 8,66. 1,83. 2,56. 11,57. 1,80. 1,75. 56,38. 3,62. . НСР0,05. 4,52. 3,66. 0,24. 0,11. 0,11. 1,18. 0,27. 0,15. 1,16. 0,58. . стандартное отклонение. 7,03. 5,7. 0,37. 0,17. 0,17. 1,83. 0,43. 0,24. 1,80. 0,90. . коэф. вариации, %. 16. 15. 4. 9. 7. 16. 24. 14. 3. 25. . Таблица 15 - Содержание Cu и Zn в растениях: озимая пшеница, многолетние травы (2013, 2016, 2017 гг.) при ПДК Cu в зерне = 10 мг/кг; ПДК Zn в зерне = 50 мг/кг. Образцы растительной продукции. (Сu и Zn, мг/кг). Элемент. Ошибка. Элемент. Ошибка. . номер. год. фон. удобр.. поле. культура. вар-т. Cu. Zn. 1. 2017. 1. 2. зерно оз.пш.. 1. 6,08. 0,30. 19,35. 0,97. . 2. 2017. 1. 2. 2. 6,20. 0,31. 15,17. 0,76. . 3. 2017. 1. 2. 5. 6,23. 0,31. 18,20. 0,91. . 4. 2017. 1. 2. 6. 6,05. 0,30. 13,11. 0,66. . 5. 2017. 1. 2. 7. 6,23. 0,31. 15,91. 0,80. . 6. 2017. 1. 2. 9. 6,08. 0,30. 16,00. 0,80. . 7. 2017. 0. 2. 1. 6,23. 0,31. 16,55. 0,83. . 8. 2017. 0. 2. 2. 6,23. 0,31. 22,06. 1,10. . 9. 2017. 0. 2. 5. 6,14. 0,31. 14,61. 0,73. . 10. 2017. 0. 2. 6. 6,15. 0,31. 17,18. 0,86. . 11. 2017. 0. 2. 7. 6,13. 0,31. 13,77. 0,69. . 12. 2017. 0. 2. 9. 6,22. 0,31. 18,01. 0,90. . 13. 2016. 1. 1. 1. 6,16. 0,31. 11,57. 0,58. . 14. 2016. 1. 1. 5. 6,14. 0,31. 14,37. 0,72. . 15. 2016. 1. 1. 7. 6,20. 0,31. 15,03. 0,75. . 16. 2016. 1. 1. 9. 6,03. 0,30. 13,46. 0,67. . 17. 2016. 0. 1. 1. 6,15. 0,31. 10,56. 0,53. . 18. 2016. 0. 1. 5. 6,23. 0,31. 12,08. 0,60. . 19. 2016. 0. 1. 7. 6,27. 0,31. 11,05. 0,55. . 20. 2016. 0. 1. 9. 6,41. 0,32. 11,91. 0,60. . 21. 2013. 1. 2. 1. 6,18. 0,31. 10,86. 0,54. . 22. 2013. 1. 2. 2. 6,06. 0,30. 8,91. 0,45. . 23. 2013. 1. 2. 7. 7,86. 0,39. 12,96. 0,65. . 24. 2013. 0. 2. 1. 7,73. 0,39. 58,70. 2,94. . 25. 2013. 0. 2. 2. 7,57. 0,38. 16,45. 0,82. . 26. 2013. 0. 2. 7. 7,46. 0,37. 9,24. 0,46. . 27. 2016. 1. 2. мн.тр.. 1. 3,45. 0,17. 9,08. 0,45. . 28. 2016. 1. 2. 5. 3,51. 0,18. 17,53. 0,88. . 29. 2016. 1. 2. 7. 3,50. 0,18. 6,60. 0,33. . 30. 2016. 0. 2. 1. 3,52. 0,18. 5,72. 0,29. . 31. 2016. 0. 2. 5. 3,45. 0,17. 6,45. 0,32. . 32. 2016. 0. 2. 7. 3,46. 0,17. 5,93. 0,30. . 33. 2013. 0. 1. мн.тр.. злаки. 6. 3,48. 0,17. 6,52. 0,33. . 34. 2013. 0. 1. мн.тр. клевер. 6. 3,44. 0,17. 6,48. 0,32. . 35. 2013. 0. 1. мн.тр.. злаки. 7. 3,40. 0,17. 6,67. 0,33. . 36. 2013. 0. 1. мн.тр. клевер. 7. 3,40. 0,17. 9,76. 0,49. . Таблица 16 - Вынос Cu и Zn в сопряженных растительных пробах (пшеница, 2016, 2017 гг.). год. поле. вар.. доза последействия. фон. Урож.. Урож./сух.в.. Cu раст.. (мг/кг). Вынос (г/га). Zn раст.. (мг/кг). Вынос (г/га). 2016. 1. 1. контроль. 0. 31,3. 29,92. 6,15. 18,41. 10,56. 31,59. 2016. 1. 5. 1 орг + 3NPK. 0. 36,8. 33,37. 6,23. 20,79. 12,08. 40,30. 2016. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. 0. 34,7. 29,84. 6,27. 18,70. 11,05. 32,98. 2016. 1. 9. 2 орг. 0. 37,5. 32,25. 6,41. 20,67. 11,91. 38,41. 2016. 1. 1. контроль. 1. 49,6. 42,66. 6,16. 26,29. 11,57. 49,36. 2016. 1. 5. 1 орг + 3NPK. 1. 52,4. 45,06. 6,14. 27,69. 14,37. 64,75. 2016. 1. 7. 2 орг + 3 NPK. 1. 52,5. 45,15. 6,20. 27,99. 15,03. 67,86. 2016. 1. 9. 2 орг. 1. 52,2. 44,89. 6,03. 27,09. 13,46. 60,42. 2017. 2. 1. контроль. 0. 36,0. 30,96. 6,23. 19,30. 16,55. 51,24. 2017. 2. 2. 1 орг. 0. 37,8. 32,51. 6,23. 20,26. 22,06. 71,72. 2017. 2. 5. 1 орг + 3NPK. 0. 46,1. 39,65. 6,14. 24,33. 14,61. 57,93. 2017. 2. 6. 2 орг + 1 NPK. 0. 42,5. 36,55. 6,15. 22,48. 17,18. 62,79. 2017. 2. 7. 2 орг + 3 NPK. 0. 46,3. 39,82. 6,13. 24,40. 13,77. 54,83. 2017. 2. 9. 2 орг. 0. 38,6. 33,20. 6,22. 20,65. 18,01. 59,79. 2017. 2. 1. контроль. 1. 47,3. 40,68. 6,08. 24,74. 19,35. 78,72. 2017. 2. 2. 1 орг. 1. 46,2. 39,73. 6,20. 24,64. 15,17. 60,27. 2017. 2. 5. 1 орг + 3NPK. 1. 52,3. 44,98. 6,23. 28,00. 18,20. 81,86. 2017. 2. 6. 2 орг + 1 NPK. 1. 53,3. 45,84. 6,05. 27,71. 13,11. 60,10. 2017. 2. 7. 2 орг + 3 NPK. 1. 50,4. 43,34. 6,23. 27,01. 15,91. 68,95. 2017. 2. 9. 2 орг. 1. 46,2. 39,73. 6,08. 24,14. 16,00. 63,57. Объем выборки. 20. 20. 20. 20. 20. 20. Среднее. 44,5. 38,5. 6,18. 23,76. 15,00. 57,87. НСР0,05. 4,64. 3,75. 0,06. 2,21. 1,97. 9,17. Дисперсия. 49,41. 32,32. 0,01. 11,25. 8,96. 193,30. Стандартное откл.. 7,03. 5,69. 0,09. 3,35. 2,99. 13,90. Ошибка средн.. 1,57. 1,27. 0,02. 0,75. 0,67. 3,11. Коэфф.вариации, %. 16. 15. 1. 14. 20. 24. Таблица 17 - Взаимосвязь урожайности, Zn, Cu в многолетних травах и выноса Zn, Cu. Критерии. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Урож.. (сух.в-во). Cu раст.. Cu вынос. Zn раст.. Zn вынос. Урож. в пересч. на абс.с./в-во. 1,000. 0,252. 0,970. -0,647. 0,000. Cu в раст.прод.(мг/кг). 0,252. 1,000. 0,381. -0,214. -0,238. Cu вынос (г/га). 0,970. 0,381. 1,000. -0,643. -0,024. Zn в раст. прод. (мг/кг). -0,647. -0,214. -0,643. 1,000. 0,667. Zn вынос (г/га). 0,000. -0,238. -0,024. 0,667. 1,000. Таблица 18 - Корреляции: Вынос Cu, Zn и урожайность пшеницы, 2016 -2017 гг. Значение. Spearman Rank Order Correlations. Отмеченные корреляции значимы при p < 0, 05. Урож.. Урож.с/в. Cu раст. Cu вынос. Zn раст. Zn вынос. Урож.. 1,000. 0,989. -0,516. 0,971. 0,156. 0,633. Урож с/в. 0,990. 1,000. -0,539. 0,979. 0,116. 0,604. Cu раст. -0,516. -0,539. 1,000. -0,440. 0,014. -0,217. Cu вынос. 0,971. 0,979. -0,440. 1,000. 0,122. 0,606. Zn раст. 0,156. 0,116. 0,014. 0,123. 1,000. 0,780. Zn вынос. 0,633. 0,604. -0,217. 0,606. 0,780. 1,000.