

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И СОРТОВЫХ ФАКТОРОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ

**В статье исследуется накопление тяжелых металлов яровой пшеницей с учетом сортовых характеристик, а также особенностей природно-географических зон районирования. Среди наиболее популярных сортов яровой пшеницы Оренбургской области определены максимально подверженные техногенным воздействиям.**

**Ключевые слова:** атомно-абсорбционный анализ, тяжелые металлы, яровая пшеница, зоны районирования.

В последнее время большое внимание уделяется экологическому состоянию почв, а также возделываемым на них сельскохозяйственным культурам при длительном применении средств химизации.

Некоторые минеральные удобрения и пестициды могут содержать тяжелые металлы (ТМ). Этот термин в научной и специальной сельскохозяйственной литературе приобрел негативный смысл. Однако в малых дозах многие из этих элементов необходимы для жизнедеятельности растений. Опытным путем установлено, что жизненно важными для растений являются 15 элементов, из которых 7 – азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера и железо – нужны в относительно больших количествах, а 8 элементов – бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт, ванадий, йод – необходимы в очень малых дозах.

Тяжелые металлы оказывают влияние на растения, животных и человека, когда они находятся в подвижных соединениях, и происходит это преимущественно через почву и воду.

Источником увеличения их концентрации могут быть естественные процессы выветривания материнских пород, обогащенных тем или иным ТМ, но главным является антропогенный фактор загрязнения (отходы металлообработки промышленности; продукты сгорания топлива; выбросы промышленных предприятий; выхлопные газы транспортных средств; средства химизации сельского хозяйства и др.)

Среди загрязнителей окружающей среды ТМ принадлежит особое место, до 70% которых поступает в организм человека с пищевыми продуктами. Основные механизмы действия токсичных элементов определяются влиянием на проницаемость клеточных мембран, замещением

естественных субстратов в жизнедеятельности клеток, инактивацией биологически активных веществ и ингибированием ферментов [1].

В миграционной системе биосферы особое место занимает почва, в которой зарождаются главные массопотоки металлов. С одной стороны, здесь происходит мобилизация тяжелых металлов, находящихся в рассеянном состоянии, с другой – перераспределение их масс, непрерывное высвобождение из растений, микроорганизмов, разрушающихся горных пород.

Термин тяжелые металлы, характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе тяжелых металлов, изменяется в широких пределах.

В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк).

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к ТМ относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых

организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомagniфикации.

Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов. По классификации Н. Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg.

Формально определению ТМ соответствует большое количество элементов. Однако, по мнению исследователей, занятых практической деятельностью, связанной с организацией наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды, соединения этих элементов далеко не равнозначны как загрязняющие вещества. Поэтому во многих работах происходит сужение рамок группы тяжелых металлов, в соответствии с критериями приоритетности, обусловленными направлением и спецификой работ.

Ионы металлов являются неизменными компонентами почвы. В зависимости от условий среды (рН, окислительно-восстановительный потенциал, наличие лигандов) они существуют в разных степенях окисления и входят в состав разнообразных неорганических и металлоорганических соединений, которые могут быть истинно растворенными, коллоидно-дисперсными.

Благодаря равновесию между физико-химическими условиями и различными формами нахождения рассеянных металлов, а также их способности включаться в ту или иную миграцию, не только поддерживаются миграционные потоки, но и регулируется их накопление.

Избыточное количество металлов путем трансформации их форм выводится в твердую фазу почвы, где они могут концентрироваться и в дальнейшем пополнять отдельные миграционные потоки.

Сохранить почву в нативном состоянии в современных условиях практически невозможно, т.к. вся поверхность земного шара в той или иной мере подвержена воздействию антропогенных продуктов. Вопрос состоит не в том, чтобы иметь чистую почву, а в том, чтобы уровни содержания тяжелых металлов антропогенно-

го происхождения находились в почвах сельскохозяйственного назначения в количествах, не приводящих к негативным последствиям [2].

Важнейшая задача классической и экологической агрохимии сегодня и на перспективу — контроль содержания химических элементов в растительной продукции, возможность его регулирования, изучение зависимости этого содержания от биогеохимических условий среды в системе: почва — растение — животное — человек.

Миграция ТМ в агроэкосистемах и в звене почва — растение определяется их химическими свойствами, почвенными условиями и биологическими особенностями растений [3].

Среди миграционных процессов в биосфере наиболее изучен так называемый биологический круговорот, под которым подразумевается циклический обмен масс химических элементов почвы и растительности. Количество металлов, участвующих в биогеохимической миграции, внушительно: массы цинка и меди, ежегодно вовлекаемые в такой круговорот на всей площади мировой суши, оцениваются миллионами тонн, никеля, свинца и хрома — сотнями тысяч, ртути и кадмия — тысячами тонн.

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве и растениях является чрезвычайно сложным из-за невозможности полного учета всех факторов природной среды. Так, изменение только агрохимических свойств почвы (реакции среды, содержания гумуса, степени насыщенности основаниями, гранулометрического состава) может в несколько раз уменьшить или увеличить содержание тяжелых металлов в растениях. Имеются противоречивые данные даже о фоновом содержании некоторых металлов. Приводимые исследователями результаты различаются иногда в 5 – 10 раз.

Предложено множество шкал экологического нормирования тяжелых металлов. В некоторых случаях за предельно допустимую концентрацию принято самое высокое содержание металлов, наблюдаемое в обычных антропогенных почвах, в других — содержание, являющееся предельным по фитотоксичности. В большинстве случаев для тяжелых металлов предложены ПДК, превосходящие верхнюю норму в несколько раз.

Разработанные в 1995 г. ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) для валового содержания 6 тяжелых металлов и мышь-

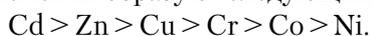
яка позволяют получить более полную характеристику о загрязнении почвы тяжелыми металлами, так как учитывают уровень реакции среды и гранулометрический состав почвы.

При оценке опасности загрязнения сельскохозяйственных угодий в результате поступления токсикантов в растения оценка размеров накопления ТМ сопоставляется с данными по их фоновому содержанию в растениях и ПДК в сельскохозяйственной продукции.

По абсолютному содержанию в растениях ТМ можно разделить на 4 группы:

- элементы повышенной концентрации — Sr, Mn, Zn;
- элементы средней концентрации — Cu, Ni, Pb, Cr
- элементы низкой концентрации — Mo, Cd, Se, Co, Sn;
- элементы очень низкой концентрации — Hg.

Среди ТМ (токсичных элементов) приоритетными загрязнителями считаются Hg, Pb, Cd, As, Zn главным образом потому, что техногенное накопление их в окружающей среде идет высокими темпами. Существует тесная положительная корреляция между содержанием элемента в растении и его подвижностью в почве. По степени уменьшения коэффициентов накопления элементы образуют следующий ряд:



Значения коэффициентов накопления для различных сельскохозяйственных культур существенно варьируют, что связано с почвенными условиями и биологическими особенностями культур. Максимальным накоплением ТМ характеризуются листья бобовых, листовые овощи, вегетативная масса трав и солома зерновых культур.

Коэффициенты накопления, рассчитанные на валовое содержание элемента в почве, не всегда отражают действительную миграционную подвижность его в звене почва — растение, т.к. в почве одновременно присутствуют различные формы элементов, отличающиеся прочностью связи и доступностью для поглощения растениями. Для более точной оценки связи подвижности ТМ в почве и накопления их в растениях используют коэффициент накопления, рассчитываемый как отношение валовой концентрации элемента в растениях к содержанию его подвижной формы в почве [4].

Изучение поведения в системе почва-растение одновременно нескольких элементов-аналогов позволило выявить как общие закономерности, так и особенности поглощения элементов растениями. Сходство поведения элементов-аналогов в различных звеньях цепи миграции обеспечивает и общую для них закономерность перехода из одного звена в другое.

С увеличением концентрации элемента в почве его концентрация в растении возрастает до некоторого предела, а при малых концентрациях содержание в растениях растет почти линейно. Одним из факторов, влияющих на поступление ТМ в растение, является их токсичность. При этом содержание ТМ в почве, превышающее порог токсичности, приводит к снижению их поступления в растения. Проведенные к настоящему времени исследования позволяют сделать вывод о наличии тесной положительной корреляции между содержанием ТМ в растениях и подвижностью их в почве.

Этим объясняется тот факт, что среди установленных к настоящему времени ПДК химических элементов в почве лишь для Sb, Mn, V, Pb, As и Hg в качестве критерия опасности рассматривается их валовое содержание, тогда как для Cu, Ni, Zn, Co и Cr приводятся более корректные значения ПДК подвижных (экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером) форм металлов, т.е. сорбированных почвой по механизму ионного обмена [5].

Доступность ТМ для растений определяется биологическими особенностями самих растений. Среди них можно выделить следующие:

- варьирование накопления ТМ из-за видовых особенностей растений (одни растения накапливают больше одних ТМ, другие — других);
- видовые и сортовые отличия сельскохозяйственных культур в накоплении ТМ (в одних и тех же почвенных условиях они будут поглощать разное количество ТМ);
- у каждого вида растений различные его части и органы концентрируют разное количество ТМ;
- возрастные различия в накоплении ТМ [6].

Основной задачей наших исследований стал сравнительный анализ накопления тяжелых металлов зерновыми культурами с учетом сортовых характеристик, а также особенностей природно-географических зон районирования.

Объектами исследований стали образцы 14 наиболее популярных сортов яровой пшеницы, урожая 2004 – 2008 годов, выращенной в Западной, Центральной и Восточной зонах Оренбургской области.

В частности, были исследованы сорта – лидеры посевов в нашей области в настоящее время: мягкие «Варяг», «Оренбургская-13» и твердые «Оренбургская-10», «Оренбургская-2». На долю этих сортов приходится до 84% площади сельскохозяйственных угодий, отведенных на посев яровой пшеницы в нашем крае.

Выбранные для изучения зоны также не случайны. С учетом большой территориальной протяженности нашей области в широтном и меридиональных направлениях, наблюдается градация погодно-климатических, а также геологических, в частности почвенных, условий произрастания зерновых культур. К примеру, наблюдается постепенное уменьшение одного из основных показателей климата – гидротермического коэффициента Селянинова в направлениях с запада на восток области и с севера на юг. Кроме того, эти зоны подвержены различной степени техногенного воздействия [7].

Всвязи с подобной дифференциацией представляет интерес оценка и сравнительный анализ содержания химических элементов в различных сортах яровой пшеницы разных зон Оренбургской области.

Все пробы зерновых культур для исследований были взяты согласно ГОСТ 13496.0-70. Подготовка проб проводилась по ГОСТ (28418-89) «Метод озоления (ускоренный ме-

тод)». Валовое содержание тяжелых металлов в образцах определялось с помощью атомно-абсорбционного спектроскопического анализа с графитовой печью. Статистические данные обрабатывались с помощью программы STATISTICA. Измерялись концентрации следующих важных химических элементов: марганца, свинца, кадмия, меди, цинка и никеля. Результаты сравнительного анализа содержания ТМ в образцах разных зон представлены на графике (рисунок 1). Вследствие большого разброса концентраций для разных ТМ, для большей наглядности и читабельности графика их значения были приведены к единому диапазону разброса (в каждом случае вводился соответствующий коэффициент преобразования) [8].

Во всех случаях содержание тяжелых металлов в исследуемом зерне ниже или на уровне ПДК. Сравнительное накопление тяжелых металлов в яровой пшенице в разных зонах следует отметить превосходство Восточной зоны по содержанию в пшенице таких металлов как марганец, хром, свинец, никель.

Для кадмия, меди и цинка таких четких зависимостей не наблюдается, разброс концентрации этих элементов в исследованных образцах не позволяет судить о преобладании какой-либо зоны нашей области. Следует отметить также, что концентрации ТМ в образцах Центральной зоны близки к таковым у образцов Восточной зоны, а в случае хрома даже несколько превосходят. Из приведенного графика также можно заключить, что разница между минимальными и максимальными значениями валового содержания ТМ в пшенице в среднем не превышает 150-250%.

Предположительно, преобладание Восточной и Центральной зон в ряде случаев связано с более высокой концентрацией промышленных объектов, служащих источниками загрязнения окружающей среды различными химическими элементами (в частности, свинцом, никелем, марганцем и хромом), а также с более благоприятными природно-климатическими и почвенными условиями (рН среды, концентрация ионов калия, кальция и магния и т.д.).

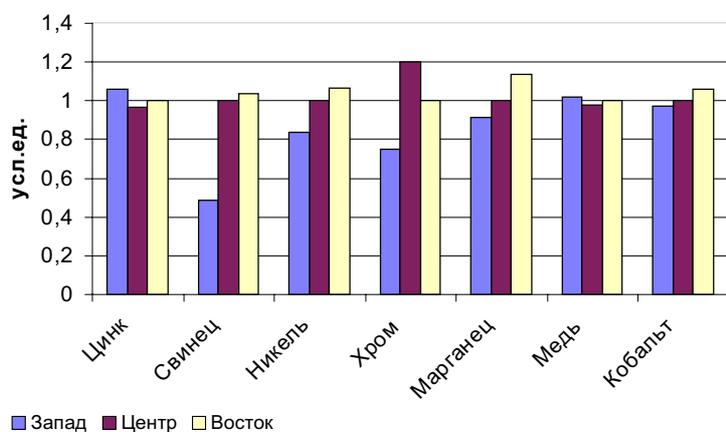


Рисунок 1. Зависимости содержания тяжелых металлов от зоны произрастания яровой пшеницы

Таблица 1. Зависимости накопления ТМ от сорта яровых пшениц Оренбургской области

Сорт	Максимальное содержание элементов	Минимальное содержание элементов
Харьковская-3	Zn, Pb, Ni, Cr, Mn	Cd
Оренбургская-21	Zn, Pb, Mn, Cu, Cd	-
Оренбургская-10	Ni	Mn, Cu
Саратовская-42	Pb, Cr, Mn, Cu	-
Варяг	-	Cd
Юго-Восточная-3	Cr	Cd
Безенчугская Янтарь	-	Ni, Cr, Cu
Учитель	-	Zn, Pb, Ni, Cu

Необходимы дальнейшие исследования с целью нахождения корреляции между накоплением тяжелых металлов в зерновых культурах и особенностями зоны произрастания, а также подверженности влиянию техногенного фактора.

В ходе сравнительного анализа полученных статистических данных, последовательно исключив влияние природно-климатических и почвенных особенностей зон районирования, выделены сорта, обладающие максимальной и минимальной накопительной способностью различных ТМ.

После группирования образцов по исследуемым химическим элементам, в каждой зоне были выделены сорта-«лидеры» и сорта-«аут-

сайтеры». Результаты анализа представлены в таблице 1.

Сорта «Харьковская-3», «Оренбургская-21» и «Саратовская-42» проявили большую накопительную способность практически ко всем исследованным элементам. «Безенчугская Янтарь» и «Учитель» – сорта с наиболее низким содержанием ТМ, а значит они менее чувствительны к промышленным загрязнениям и сельскохозяйственным металлосодержащим удобрениям. Особенно, это характерно для наиболее канцерогенных элементов – кадмия и свинца.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение зависимостей накопления ТМ в зерновке пшеницы от ее сортовых технологических характеристик.

**Выводы:**

Изучено содержание ТМ в яровой пшенице 14 сортов трех зон произрастания Оренбургской области.

Выявлено преобладание в накоплении ТМ у образцов преимущественно Восточной и Центральной зон районирования.

Среди наиболее популярных сортов яровой пшеницы Оренбургской области определены максимально подверженные техногенным воздействиям – «Харьковская-3», «Оренбургская-21» и «Саратовская-42», а также минимально подверженные – «Безенчугская Янтарь» и «Учитель».

**Список использованной литературы:**

1. Дмитриева, А. Г. Физиология растительных организмов и роль металлов / А. Г. Дмитриева, О. Н. Кожанова, Н. Л. Дронина. – М. : Изд-во МГУ. – 2002. – 160 с.
2. Овчаренко, М. М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / М. М. Овчаренко. – М. : Высш. шк., 1997. – 290 с.
3. Кретович, В. Л. Биохимия растений / В. Л. Кретович. – М. : Высш. шк., 1997. – 445 с.
4. Добровольский, В. В. Гуминовые кислоты и водная миграция тяжелых металлов // Почвоведение. – 2006. – №11. – С. 1315-1321.
5. Левшин Л. В. Оптические методы исследования молекулярных систем / Л. В. Левшин, А. М. Салецкий. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 320 с.
6. Будин, А. С. Химические элементы – токсиканты почв // Почвоведение. – 1975. – № 11. – С. 125-127.
7. Долгалев, М. П. Оренбургская пшеница // Уральские нивы. – Свердловск, 1988. – № 8. – С. 12-13.
8. Брицке, М. Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ / М. Э. Брицке. – М. : Высш. шк., 1982. -114 с.