

Российская Федерация, Краснодарский край
Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования
«Центр дополнительного образования «Хоста» муниципального
образования городской округ г.-к. Сочи
354067 г. Сочи ул. Ялтинская д. 16А, 8 (862) 265-49-09, 8 (862) 265-35-44, 8
(862) 265-35-41, Факс: 8 (862) 265-35-44

**ВЛИЯНИЕ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ-ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *Triticum aestivum* L. В УСЛОВИЯХ ПАССИВНОЙ
ГИДРОПОНИКИ**

Автор: Ананиади Харламхий
Христофорович, 10А класс
ЦДО «Хоста» г. Сочи,
МОБУ СОШ №53 им. Титова И.С.
г. Сочи

Руководитель:

Кузнецова Анна Николаевна,
педагог дополнительного образования
ЦДО «Хоста»

г. Сочи, 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	5
2.1 Аргументация выбора <i>Triticum aestivum L.</i> сорта Гром, как объекта изучения. Ботаническое описание.....	5
2.2 Анализ литературы на тему влияния тяжелых металлов-загрязнителей на растения.....	5
2.3 Принцип ионного всасывания металлов растениями.....	6
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
3.1 Методика проведения исследования.....	7
3.2 Влияние катионов цинка, никеля, кобальта в различных концентрациях на рост <i>Triticum aestivum L.</i> сорта Гром.....	7
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	11
5. Список литературы.....	12
6. Приложение №1.....	14
7. Приложение №2.....	18

1. ВВЕДЕНИЕ

Современная экологическая обстановка характеризуется возрастающим уровнем загрязнения окружающей среды, в том числе почв и водных ресурсов, тяжелыми металлами. Катионы таких металлов-загрязнителей, как: свинец (Pb), кадмий (Cd), медь (Cu), цинк (Zn), кобальт (Co), никель (Ni) и ртуть (Hg), в повышенных концентрациях оказывают токсическое воздействие на живые организмы, включая растения. Особую опасность они представляют не только для здоровья человека, но и для сельскохозяйственных культур, поскольку способны накапливаться в растительных тканях, снижая активность фотосинтеза, рост и развития растения, а в следствии продуктивность и качество урожая.

Пшеница мягкая озимая (*Triticum aestivum L.*) является одной из ключевых зерновых культур, выращиваемых и используемых во многих странах. Изучение влияния тяжелых металлов на ее рост и развитие имеет важное значение для разработки методов минимизации негативных последствий загрязнения окружающей среды. В условиях пассивной гидропоники, где растения выращиваются без активного перемещения питательного раствора, воздействие токсичных элементов может проявляться особенно выражено из-за их непосредственного контакта с корневой системой.

Основной способ попадания тяжелых металлов-загрязнителей в почву – промышленные отходы, но металлы также попадают в почву из сельскохозяйственных удобрений, свалок твёрдых бытовых отходов, разливы топлива, и так далее [1]. Так выбросы только от ремонтных предприятий железных дорог составляют 380 тыс. тонн в год, а от выхлопов автомобилей, работающих на этилированном бензине, 250 тыс. тонн свинца (Pb) в год[2].

В своей работе я планирую провести 10 опытов в двух повторностях. Каждый опыт – гидропонная площадка с одним из трех выбранных мною субстратов (дистиллированная, речная, скважинная воды) и добавлением металлов-загрязнителей никеля, цинка, кобальта в трёх концентрациях: 0,1 г/л, 0,01 г/л, 0,001 г/л, или без добавления металлов (контроль). В качестве контрольного субстрата – дистиллированная вода, так как она не оказывает прочего воздействия на растение.

Работа проводилась с июня по октябрь 2025 годана базе ЦДО «Хоста», Хостинский р-он, г. Сочи, Краснодарский Края; забор речной воды производился в реке Псахо, скважинной в селе Лесное, Адлерский р-он, г Сочи.

Объект исследования: *Triticum aestivum L.* сорта Гром.

Гипотеза: никель окажет негативное влияние на рост пшеницы во всех концентрациях; кобальт будет угнетать рост корня во всех концентрациях, но в концентрации 0,001 г/л будет улучшать рост стебля; цинк во всех концентрациях будет улучшать рост и развитие корневой системы, но в концентрации 0,1 г/л угнетать рост стебля. В дистиллированной воде рост будет минимальным, в речной максимальный.

Цель: изучить влияние катионов никеля (Ni^{2+}), кобальта (Co^{2+}) и цинка (Zn^{2+}) на рост *Triticum aestivum L.* сорта Гром.

Задачи:

1. Проанализировать литературные источники по теме влияние катионов никеля, цинка и кобальта на рост и развитие растений;
2. Прорастить пшеницу до размера корешка от 0,4 до 0,8 мм;
3. Выращивать *Triticum aestivum* L. сорта Гром на гидропонике на дистиллированной воде с концентрацией катионов никеля, цинка, кобальта: 0,1 г/л, 0,01 г/л и 0,001 г/л в течении 14 дней;
4. Выращивать *Triticum aestivum* L. сорта Гром на гидропонике на речной воде с концентрацией катионов никеля, цинка, кобальта: 0,1 г/л, 0,01 г/л и 0,001 г/л в течении 14 дней;
5. Выращивать *Triticum aestivum* L. сорта Гром на гидропонике на воде из скважины с концентрацией катионов никеля, цинка, кобальта: 0,1 г/л, 0,01 г/л и 0,001 г/л в течении 14 дней;
6. Проанализировать, полученные в ходе исследования, данные и сделать выводы.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Аргументация выбора *Triticum aestivum L.* сорта Гром, как объекта изучения. Ботаническое описание

При выборе объекта исследования, я рассматривал много различных вариантов: от ржи до кукурузы, но все они либо не дают наглядных результатов в относительно короткие сроки, либо не подходят для проращивания на гидропонике. Каждая из рассмотренных мной культур была мне интересна, но мой выбор пал именно на озимую пшеницу сорта Гром.

Во-первых, Россия находится на 3 месте среди стран производящих пшеницу, по статистике за 2022 год, её доля составляет 12,9% (104233944 тон)[3], а один из самых популярных сортов пшеницы в России – Гром, в 2023 году объем его высева составляет 200,6 тысяч тонн семян[4]. И, несмотря на распространенность пшеницы, при анализе литературы, я изучил множество статей, и картина устойчивости пшеницы к различным металлам оказалась достаточно «пёстрой».

Во-вторых, пшеница достаточно быстро растёт и не требует специальных условий выращивания, что делает ее очень «удобным» объектом исследования, также пшеница подходит для выращивания на гидропонике, ведь не все культуры можно выращивать именно этим методом. Она имеет мочковатую корневую систему, состоящую из первичных и вторичных корней, с преобладанием вторичных в верхних слоях почвы, что способствует активному поглощению влаги и минеральных веществ из верхних слоев почвы. Также, так как исследование проводилось в период с лета по осень мой выбор пал именно на озимую пшеницу, а не на яровую.

Охарактеризовать сорт пшеницы Гром можно как: мягкая озимая пшеница, с вегетативным периодом 223–278 дней. Устойчива к засухе и морозам, в 2010 году была занесена в Госреестр и рекомендована к выращиванию на северных регионах России. Устойчива к мучнистой росе и среднеустойчива к вирусам [5].

2.2 Анализ литературы на тему влияния тяжелых металлов-загрязнителей на растения

В качестве предмета исследования, я выбрал влияние трёх тяжелых металлов-загрязнителей почвы: цинк, никель, кобальт.

Цинк (Zn^{2+}) – важный микроэлемент, участвует в синтезе хлорофилла (без него синтез невозможен), в углеродном, белковом обменах, способствует росту семян и развитию корневой системы. Дефицит цинка вызывает уменьшение количества хлорофилла, впоследствии у растения наблюдается замедленный рост, хлороз, «розеточная болезнь». При избытке цинка уменьшается количество фотосинтетических пигментов, а также происходит частичное закрытие устьиц и уменьшение размера устьичной щели, так как снижается оводнённость тканей листа. Пшеница слабо чувствительна к металлу. Норма содержания в почве варьируется от 0,5 до 2,0 мкг/кг [6,7]. Цинк в большем объёме попадает в почву из промышленных отходов, в особенности от цветной металлургии. [8]

Никель (Ni^{2+}) является тяжелым металлом, элементом средней концентрации и слабо поглощается растениями. Никель входит в состав уреазы (фермента, катализирующего гидролиз мочевины), а также ферментов бобовых

растений, используемых для фиксации азота. При недостатке никеля в тканях скапливается мочевины, из-за чего побеги отмирают или замедляются в росте, в больших же дозах является токсичным для растений, так как угнетает процесс фотосинтеза, транспирации, рост и развитие корневой системы и вызывает хлороз листьев. Содержание никеля от 5 до 30 мг/кг является токсичным для растений (при норме от 1 до 10 мг/кг). Основным источником загрязнения – выбросы металлургических предприятий, а сам металл – один из сильнейших тяжелых металлов-загрязнителей [9,10]. Насколько устойчива пшеница к никелю точно сказать нельзя, но металл токсичен для растения.

Кобальт (Co^{2+}) участвует в фиксации азота в клубеньках растений, содержится в ферменте, вовлеченном в синтез ДНК (рибонуклеотидредуктаза), также стимулирует рост тканей, содержащих бактериоиды, но роль кобальта в растениях, которые не могут фиксировать азот, незначительная. При недостатке кобальта у некоторых растений замечены признаки азотного голодания. Избыток металла вызывает межжилковый хлороз, появление недоразвитых корней и замедляет рост растения, особенно чувствительны к кобальту хлебные злаки (в число которых входит пшеница). Основным источником попадания кобальта в почву – цветная металлургия [11]. Норма содержания кобальта в почве от 1 до 15мк/кг.

2.3 Принцип ионного всасывания металлов растениями

После полива растения, вода растворяет минеральные соли и ионизирует их. Через корневые волоски вода, в которой находятся растворенные и ионизированные соли поступает в растение и транспортируется проводящей тканью.

Так же растения имеют пассивный и активный виды транспорта веществ. При пассивном транспорте, вещества перемещаются по градиенту концентрации, используя диффузию и осмос. Яркий пример такого типа транспорта – газообмен через устьица. Данный процесс не требует затрат энергии. Активный транспорт же наоборот имеет более сложный принцип работы и перемещает вещества против градиента концентрации, используя белковые насосы и переносчики, в отличие от пассивного типа транспорта веществ, активный требует затрат энергии АТФ. С помощью активного транспорта происходит поглощение минеральных солей клетками корней [12, 13].

Зная то, что растения поглощают вещества, некоторые виды используют для очистки, зараженной металлами, почвы. К примеру пшеница, так как она активно поглощает токсичные металлы из почвы и способна расти в неблагоприятных условиях [14].

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Методика проведения исследования

Многую были проведены опыты по выращивании пшеницы озимой сорта Гром на гидропонике на растворах никеля, цинка, кобальта в трёх концентрациях: 0,1 г/л, 0,01 г/л, 0,001 г/л, на дистиллированной, речной, скважинной водах. Речную и скважинную воду я выбрал по причине того, что фермеры, чаще всего, используют для полива воду с водоёмов или со скважин, а дистиллированную воду многие называют «мёртвой» из-за отсутствия в ней минералов и солей, а также она позволяет показать четкое влияние металла на растение, так как отсутствует иное анион-катионное воздействие. Каждый опыт был проведён в двух повторностях, каждая из которых состояла из 10 пробных площадок (Ni 0,1, 0,01, 0,001 г/л; Zn 0,1, 0,01, 0,001 г/л; Co 0,1, 0,01, 0,001 г/л; контроль без металла). В каждой площадке было по 5 семян (50 семян на одну повторность, 100 на весь эксперимент). Это нужно для того, чтобы, в конце работы, достичь достоверных результатов на основе длительных опытов.

Для проведения опытов изготавливались гидропонные площадки. Площадка была сделана из банок объёмом 350 мл и стерильной марли, натянутой резинкой сверху. Гидропонным субстратом служила дистиллированная, речная, скважинная воды.

Семена предварительно замачивались в дистиллированной воде на 2 дня, после появления корешка от 0,4 до 0,8 см, семена высаживались на гидропонную культуру. Все площадки располагались на подоконнике с солнечной стороны здания, окна в комнате с площадками были открыты. Перед каждой повторностью, гидропонные станции тщательно обрабатывались и облучались ультрафиолетом, чтобы снизить риск развития колоний грибов.

Каждый эксперимент длился 14 дней, так как за этот период растения достигают максимального роста и вегетативного развития. За эти 2 недели шли наблюдения за тем, как ведут себя растения в разных условиях выращивания.

3.2 Влияние катионов цинка, никеля, кобальта в различных концентрациях на рост *Triticum aestivum* L. сорта Гром

В ходе исследования, я поставил 12 опытов, в каждом из которых было задействовано 10 пробных гидропонных установок, на каждой из которых росло 5 семян пшеница озимой сорта Гром. Каждый опыт проводился в двух повторностях для получения достоверного результата.

По окончании 14 дней, образцы собирались, и измерялись: их корень и стебель, все данные заносились в таблицу. Для наглядности полученных результатов, данные, в виде средних значений каждого опыта, были занесены в сводную таблицу и диаграмму.

Металл, концентрация	Часть растения	Дистиллированная вода	Речная вода	Скважинная вода
Ni, 0,1г/л	стебель	2,05	2,68	2,26
	корень	0,99	0,86	0,66
Ni, 0,01 г/л	стебель	2,39	5,77	4,7
	корень	1,49	0,93	1,02
Ni, 0,001 г/л	стебель	2,57	5,88	10,74

	корень	1,21	0,85	2,42
Zn, 0,1 г/л	стебель	4,59	19,4	11,81
	корень	2,21	3,6	19,92
Zn, 0,01 г/л	стебель	6,7	18,12	17,23
	корень	1,94	5,74	32,93
Zn, 0,001 г/л	стебель	7,13	21,68	20,64
	корень	2,13	13,13	31,29
Co, 0,1 г/л	стебель	4,39	3,79	4,86
	корень	0,95	1,11	1,19
Co, 0,01 г/л	стебель	4,81	4,94	11,21
	корень	1,37	1,36	2,45
Co, 0,001 г/л	стебель	5,43	21,89	17,13
	корень	1,26	5,93	6,55
Контроль	стебель	13,34	14,56	20,24
	корень	5,2	18,00	35,73

Таблица №1. Результаты опытов, сравнительная таблица.



Рис 1. Результаты роста пшеницы на дистиллированной воде

Как видно из диаграммы, в дистиллированной воде, все металлы угнетают рост и стебля, и корня. Больше угнетающее действие оказывает никель, меньше – цинк. Максимальные рост корня и стебля был получен на гидропонной установке без добавления металла, то есть на контроле.

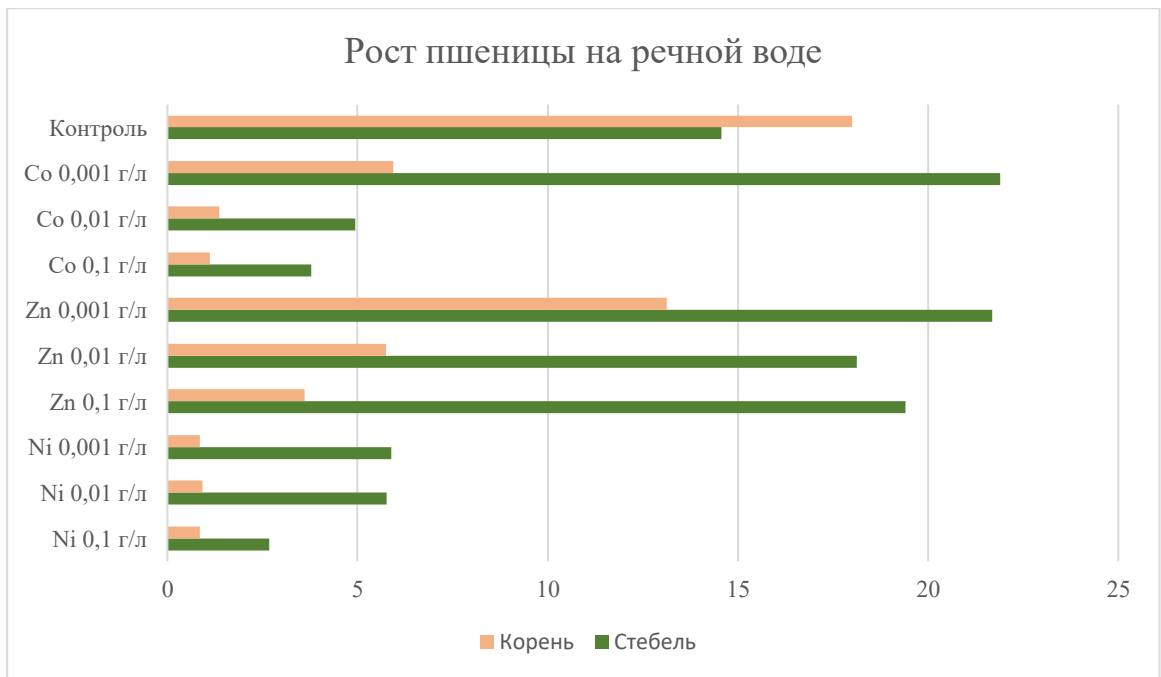


Рис 2. Результаты роста пшеницы на речной воде

В речной воде, цинк во всех концентрациях и кобальт в меньшей концентрации улучшают рост стебля; все металлы угнетают рост стебля и корня. Стебли достигают пика своего роста на субстратах с добавлением Co в концентрации 0,001 г/л и цинка во всех концентрациях, максимальный рост корня приходится на контроль.

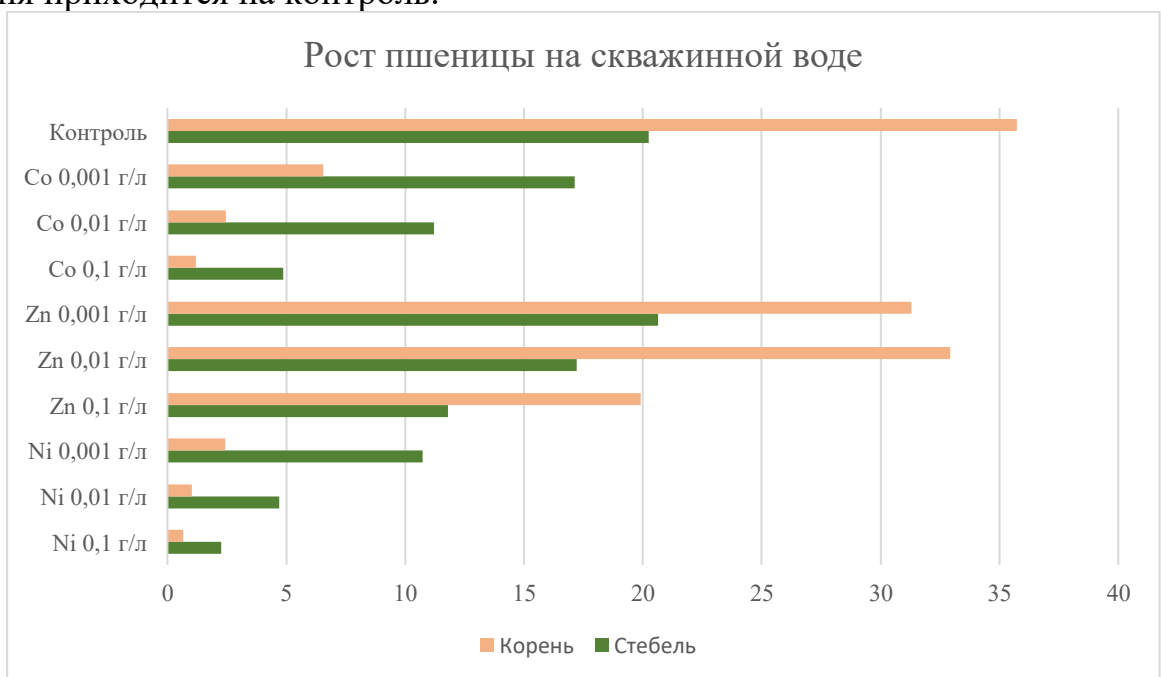


Рис 3. Результаты роста пшеницы на скважинной воде

Цинк, в речной воде, улучшает рост корней, никель и кобальт, наоборот, ухудшают рост корней. Все металлы, за исключением цинка в меньшей концентрации (0,001 г/л), ухудшают рост стебля. Максимальный рост корня приходится на контроль и цинк в концентрациях 0,01 г/л и 0,001 г/л, а пик роста стеблей приходится на цинк в меньшей концентрации и контроль.

При сравнении диаграмм, видно, что в скважинной воде корни растут лучше, а в речной - стебли. Это говорит о том, что в речной и скважинной водах присутствуют минеральные соли, стимулирующие рост и развитие растения. В дистиллированной воде рост и корня, и стебля угнетается, что говорит о том, что в ней нет необходимых, для роста растения, минеральных веществ, и она непригодна для плодородного выращивания растений на гидропонике.

При рассмотрении пшеницы, росшей на субстрате с добавлением никеля, можно заметить, что корневая система развита значительно лучше, чем на субстратах с добавлением других металлов. Корни длиннее и появляется множество придаточных корней, формирующих мочковатую корневую систему, особенно заметно появление вторичных корней там, где концентрация цинка 0,01 г/л и 0,001 г/л. Но, как видно из опыта с дистиллированной водой, цинк положительно влияет на корневую систему только в совокупности с другими металлами, способствующим росту растения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящий момент, металлы-загрязнители оказывают значительное влияние на биосферу. В ходе исследования, я выяснил, как тяжелые металлы, такие как: никель, кобальт, цинк влияют на рост и развитие пшеницы мягкой озимой сорт Гром в условиях пассивной гидропоники на дистиллированной, речной и скважинной водах. Мною были приготовлены 3 концентрации: 0,1 г/л, 0,01 г/л, 0,001 г/л сульфатов никеля, цинка и кобальта, предварительно был осуществлён расчет концентрации катионов металлов.

По результатам проделанной работы я сделал следующие выводы:

1. Дистиллированная вода непригодна для плодородного выращивания на ней растений, так как в ней не содержатся нужные минеральные вещества, которые бы стимулировали рост растения. Рост и развитие пшеницы на дистиллированной воде шли медленно, по сравнению с ростом на других гидропонных субстратах, содержащих различные минеральные вещества;
2. Минеральные соли, содержащиеся в речной воде, стимулируют рост стеблей, а соли в составе скважинной воды – корней;
3. Никель во всех концентрациях показал негативный эффект на рост и развитие как корня, так и стебля;
4. Цинк в концентрации 0,1 г/л угнетает рост стебля и корня. При меньших концентрациях он наоборот стимулирует рост и развитие корневой системы, появляется множество придаточных корней и длина корня увеличивается, также улучшается рост стебля. Но цинк оказывает положительный эффект только в совокупности с другими минералами, о чем говорит опыт с дистиллированной водой;
5. Кобальт во всех трёх концентрациях угнетает рост и развитие корневой системы, а также в концентрациях 0,1 г/л и 0,01 г/л ухудшает рост стебля, но в меньшей концентрации оказывает положительный эффект на стебель.

Я планирую продолжать работу в этом направлении, а также: провести третью повторность; провести анализ речной и скважинной вод для того, чтоб понять – какие металлы оказывают положительное воздействие на рост и развитие пшеницы; провести молекулярный докинг и посмотреть – какое влияние металлы оказывают на разные вещества, содержащиеся в растении, к примеру: как кобальт влияет на ДНК и РНК; как цинк с никелем влияют на пигмент хлорофилл.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ содержания тяжелых металлов в почве [Электронный ресурс] // ГКЛаб. — Режим доступа: <https://gklab.ru/analiz-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-v-pochve/#:~:text=верные%20управленческие%20решения.-,Источники%20и%20причины%20загрязнения%20почвы%20тяжелыми%20металлами,свалки%20ТБО.> (дата обращения: 27.10.2023).
2. Загрязнение почв и грунтов тяжелыми металлами [Электронный ресурс] // Nortest. — Режим доступа: <https://nortest.pro/articles/zagryaznenie-pochv-i-gruntov-tyazhelymi-metallami/> (дата обращения: 27.10.2023).
3. Список стран, производящих пшеницу [Электронный ресурс] // Википедия. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Списокстран,производящих_пшеницу (дата обращения: 27.10.2023).
4. Топ 10 сортов озимой пшеницы за 2023 год [Электронный ресурс] // Direct.farm. — Режим доступа: <https://direct.farm/post/top-10-sortov-ozimoj-pshenitsy-za-2023-god-13112> (дата обращения: 27.10.2023).
5. Семена пшеницы «Гром» (озимая мягкая) [Электронный ресурс] // АгроМирСемена. — Режим доступа: <https://agromirsemena.ru/grom> (дата обращения: 27.10.2023).
6. Цинк в растениях и почве [Электронный ресурс] // Direct.farm. — Режим доступа: <https://direct.farm/post/tsink-v-rastenyakh-i-pochve-17731> (дата обращения: 27.10.2023).
7. Влияние цинка на рост фотосинтетических аппаратов растений пшеницы в условиях оптимума и гипотермии [Электронный ресурс] // Журналы.Карелия. — Режим доступа: <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/biology/article/view/676/505> (дата обращения: 27.10.2023).
8. Цинк в почве [Электронный ресурс] // Nortest. — Режим доступа: <https://nortest.pro/articles/cink-v-pochve/#:~:text=Факторы%20загрязнения%20цинком,горизонтах%2С%20приводя%20к%20постепенному%20загрязнению.> (дата обращения: 27.10.2023).
9. Как тяжелые металлы ухудшают здоровье почвы и растений | Никель [Электронный ресурс] // Direct.farm. — Режим доступа: <https://direct.farm/post/kak-tyazhelyye-metally-ukhudshayut-zdorovye-pochvy-i-rasteniy-nikel-25255> (дата обращения: 27.10.2023).

10. Влияние никеля на культурные растения [Электронный ресурс] // AquaHobby. — Режим доступа: <https://aquahobby.club/article/29/> (дата обращения: 27.10.2023).
11. Кобальт [Электронный ресурс] // Пестициды. — Режим доступа: https://www.pesticide.ru/active_nutrient/cobalt (дата обращения: 27.10.2023).
12. Как происходит транспорт веществ у растения [Электронный ресурс] // ГеоГласс. — Режим доступа: <https://geoglass.ru/poleznoe/kak-proishodit-transport-veshhestv-u-rastenij/#:~:text=Основные%20механизмы%20транспорта%20веществ,движения%20веществ%20внутри%20растительного%20организма.> (дата обращения: 27.10.2023).
13. Мембранный транспорт [Электронный ресурс] // Википедия. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мембранный_транспорт#:~:text=и%20многих%20ионов.-,Активный%20и%20пассивный%20транспорт,вещества%20и%20называется%20активным%20транспортом. (дата обращения: 27.10.2023).
14. Ученый СПбГУ: пшеница и пырей могут очистить почву от токсичных металлов [Электронный ресурс] // СПбГУ. — Режим доступа: <https://spbu.ru/news-events/novosti/uchenyu-spbgu-pshenica-i-pyrej-mogut-ochistit-pochvu-ot-toksichnyh-metallov> (дата обращения: 27.10.2023).

6. ПРИЛОЖЕНИЕ №1



Рис 4. Результаты первого подхода



Рис 5-6. Результаты выращивания на скважинной воде (первая повторность)



Рис 7-8. Результаты выращивания на дистиллированной воде (первая повторность)



Рис 9-10. Результаты выращивания на речной воде (первая повторность)



Рис 11. Результаты второй повторности



Рис12 -13. Результаты выращивания на скважинной воде (вторая повторность)



Рис 14-15. Результаты выращивания на дистиллированной воде (вторая
повторность)



Рис 16-17. Результаты выращивания на речной воде (вторая повторность)



Рис 18. Первый день опыта со скважинной водой (вторая повторность)



Рис 18. Первый день опыта с дистиллированной водой (вторая повторность)



Рис 18. Первый день опыта с речной водой (вторая повторность)



Рис 19. Десятый день второй повторности

7. ПРИЛОЖЕНИЕ №2

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	5,2	3,1	2,8	3,0	4,2
	корень	0,7	0,8	0,6	0,9	0,5
Ni, 0,01	стебель	1,2	3,0	7,5	2,0	4,8
	корень	0,5	1,1	1,5	1,3	0,6
Ni, 0,001	стебель	11,2	14,0	6,2	18,5	16,1
	корень	3,1	2,2	1,4	3,9	3,1
Zn, 0,1	стебель	11,0	23,0	4,2	2,5	0,8
	корень	21,1	25,3	5,6	7,3	4,2
Zn, 0,01	стебель	25,2	24,1	24,3	22,4	17,1
	корень	33,4	36,4	38,6	26,9	29,8
Zn, 0,001	стебель	18,2	20,8	22,1	10,5	19,1
	корень	10,5	46,3	48,1	9,8	25,6
Co, 0,1	стебель	5,2	6,1	5,3	5,1	4,9
	корень	1,1	1,4	1,3	1,2	0,9
Co, 0,01	стебель	13,2	5,4	12,1	11,5	10,7
	корень	1,4	2,3	2,8	2,6	2,1
Co, 0,001	стебель	12,3	13,0	9,8	11,2	11,4
	корень	5,2	6,1	4,9	5,1	6,2
Контроль	стебель	16,2	10,2	18,8	20,2	10
	корень	35,2	24,5	36,8	38,4	23,6

Таблица №1. Результаты выращивания на скважинной воде (первая
повторность)

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	0,9	1,3	3,4	3,1	2,1
	корень	0,5	1,1	1,4	1,3	0,9
Ni, 0,01	стебель	3,2	3,0	2,5	0,8	2,8
	корень	1,8	1,7	1,4	0,5	1,6
Ni, 0,001	стебель	0,7	4,2	3,5	1,5	3,3
	корень	0,4	1,5	1,3	1,1	1,4
Zn, 0,1	стебель	5,2	4,8	3,2	6,1	0,9
	корень	2,5	2,3	2,1	2,8	0,5
Zn, 0,01	стебель	9,4	8,4	8,5	5,4	4,2
	корень	2,5	2,3	2,2	1,9	1,6

Zn, 0,001	стебель	9,2	10,3	7,8	4,5	6,7
	корень	2,9	2,7	2,6	1,8	2,4
Co, 0,1	стебель	5,2	5,1	6,2	5,8	3,1
	корень	1,3	0,9	1,2	1,1	0,5
Co, 0,01	стебель	7,4	5,3	8,1	4,2	3,8
	корень	1,2	1,3	1,4	1,1	0,8
Co, 0,001	стебель	8,2	10,1	7,2	5,1	4,2
	корень	1,6	1,7	1,5	1,3	0,7
Контроль	стебель	12,4	9,4	10,3	9,2	10,1
	корень	4,5	6,3	4,3	5,1	5,6

Таблица №2. Результаты выращивания на дистиллированной воде (первая
повторность)

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	5,6	6,1	4,2	3,2	2,2
	корень	1,3	1,5	1,2	0,9	0,5
Ni, 0,01	стебель	5,1	4,9	3,2	3,6	2,9
	корень	1,1	1,0	0,9	1,1	0,6
Ni, 0,001	стебель	8,4	10,1	7,9	5,4	3,1
	корень	1,2	1,4	1,1	0,9	0,7
Zn, 0,1	стебель	17,1	18,3	16,4	14,8	15,1
	корень	4,3	4,9	3,8	3,1	3,5
Zn, 0,01	стебель	26,2	21,8	24,2	5,2	21,4
	корень	5,9	5,3	5,6	4,0	5,1
Zn, 0,001	стебель	21,1	22,8	8,8	25,3	23,2
	корень	11,9	12,3	4,3	12,6	12,4
Co, 0,1	стебель	6,2	5,6	6,1	5,3	4,1
	корень	1,5	1,2	1,3	1,1	0,7
Co, 0,01	стебель	7,2	8,3	5,5	3,4	7,5
	корень	1,4	1,6	1,4	1,2	0,9
Co, 0,001	стебель	25,5	24,4	23,8	27,3	18,2
	корень	5,7	5,2	5,4	4,9	4,3
Контроль	стебель	20,3	12,1	15,8	18,2	16,3
	корень	16,3	15,8	18,4	16,1	15,7

Таблица №3. Результаты выращивания на речной воде (первая повторность)

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	1,0	0,2	0,8	1,2	1,1
	корень	0,8	0,5	0,6	0,5	0,7
Ni, 0,01	стебель	1,5	10,6	8,5	4,2	3,7
	корень	0,8	1,1	1,2	1,5	0,7
Ni, 0,001	стебель	13,4	13,3	5,5	2,9	6,3
	корень	4,2	2,5	1,0	0,5	2,3
Zn, 0,1	стебель	15,8	15,5	14,9	22,3	8,1
	корень	28,6	20,4	33,4	29,4	23,9
Zn, 0,01	стебель	15,3	6,2	12,4	13,1	12,2
	корень	39,8	23,5	37,3	28,5	35,1
Zn, 0,001	стебель	6,2	28,6	31,8	22,4	26,7
	корень	10,2	49,6	33,2	30,1	49,5
Co, 0,1	стебель	5,6	7,7	5,4	1,9	1,4
	корень	0,9	1,5	1,1	1,5	1,0
Co, 0,01	стебель	15,3	6,2	12,4	13,1	12,2
	корень	1,5	2,4	2,5	4,1	2,8
Co, 0,001	стебель	30,4	19,4	22,9	19,1	21,8
	корень	6,4	8,4	14,5	4,1	4,6
Контроль	стебель	25,6	28,7	19,2	22,3	31,2
	корень	33,5	32,3	59,5	35,2	38,3

Таблица №4. Результаты выращивания на скважинной воде (вторая
повторность)

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	4,2	2,3	1,1	0,8	1,3
	корень	1,2	1,3	0,5	0,8	0,9
Ni, 0,01	стебель	2,9	2,1	2,5	1,9	2,2
	корень	1,9	1,1	2,3	1,2	1,4
Ni, 0,001	стебель	3,5	2,3	1,2	3,6	1,9
	корень	1,4	1,3	1,2	1,5	1,0
Zn, 0,1	стебель	9,2	2,7	4,5	2,6	6,7

	корень	2,3	2,1	2,4	3,2	1,9
Zn, 0,01	стебель	8,9	7,2	5,2	4,4	5,4
	корень	2,1	2,2	1,4	1,7	1,5
Zn, 0,001	стебель	7,6	8,1	5,1	4,8	7,2
	корень	2,5	1,1	2,1	1,9	1,3
Co, 0,1	стебель	5,2	3,5	3,6	3,7	2,5
	корень	1,7	0,5	0,3	1,5	0,5
Co, 0,01	стебель	3,1	5,2	5,1	2,9	3,0
	корень	1,9	1,7	1,3	1,4	1,6
Co, 0,001	стебель	4,7	4,6	3,2	3,4	3,6
	корень	1,2	1,1	0,7	1,3	1,5
Контроль	стебель	18,3	21,2	13,9	14,5	14,1
	корень	4,2	5,1	5,9	5,8	5,2

Таблица №5. Результаты выращивания на дистиллированной воде (вторая
повторность)

Me, г/л	Часть растения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Ni, 0,1	стебель	0,8	1,5	2,1	0,4	0,7
	корень	0,5	0,6	0,4	0,8	0,9
Ni, 0,01	стебель	5,1	6,7	3,4	2,3	5,3
	корень	1,2	0,9	1,1	0,8	0,6
Ni, 0,001	стебель	7,1	2,7	3,8	7,2	3,1
	корень	0,5	0,4	0,6	1,2	0,5
Zn, 0,1	стебель	14,8	28,7	15,3	15,7	13,2
	корень	1,9	5,6	3,2	2,4	3,3
Zn, 0,01	стебель	16,2	20,1	17,4	15,4	13,3
	корень	5,5	4,1	7,3	9,2	5,4
Zn, 0,001	стебель	16,1	15,9	25,2	31,2	27,2
	корень	12,3	14,9	16,1	17,2	17,3
Co, 0,1	стебель	4,0	1,4	2,8	1,3	1,2
	корень	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9
Co, 0,01	стебель	6,8	3,5	4,7	2,0	0,5
	корень	1,2	1,8	2,5	1,1	0,5
Co, 0,001	стебель	17,5	21,2	24,3	18,1	18,6
	корень	5,2	5,8	6,1	11,5	5,2
Контроль	стебель	9,5	17,9	28,2	6,3	1,0
	корень	17,1	29,5	35,7	13,9	1,5

Таблица №5. Результаты выращивания на речной воде (вторая повторность)

