



УДК 581.1.04:635.21

## СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**И.А. Дударева (Черкашина)<sup>1</sup>,  
Н.А. Боме<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Тобольская комплексная научная  
станция Уральского отделения РАН,  
Россия, 626150, г. Тобольск,  
ул. Академика Юрия Осипова, 15

E-mail: sovets29@rambler.ru

<sup>2</sup>Тюменский государственный  
университет,  
Россия, 625003, г. Тюмень,  
ул. Семакова, 10

E-mail: bomena@mail.ru

Представлены результаты изучения химических элементов в почве Тобольского района. Изучено валовое содержание элементов и их формы. В работе приведены результаты поэтапного элементного фракционирования по методу Спозито, с целью определения форм соединений и их значения для растительного организма. Изучен химический состав четырех районированных в Тюменской области сортов мягкой яровой пшеницы. Показаны межсортовые различия пшеницы по способности усвоения элементов. Установлено, что качественный и количественный элементный состав растений данной культуры способен изменяться под влиянием биологически активных веществ по средствам активизации адаптации на поступление химических элементов из почвенного раствора.

Ключевые слова: регуляторы роста, пшеница, сорт, почва, химические элементы.

### Введение

Почвенный покров – незаменимый компонент биосферы в процессах обмена веществом и энергией, в котором главная роль принадлежит сложной и динамической системе почва–растение [1]. Распределение веществ в этой системе зависит от ряда факторов. Определяющими являются – концентрация вещества в почве, физико-химические свойства почвенного раствора, степень подвижности элементов, формы соединений, обуславливающие уровень миграции и доступности для растений [2]. Эти факторы химического состава почвы могут не удовлетворять потребностям растений на ней, произрастающих, создавая условия стресса и угнетая произрастание культур [3]. В свою очередь растительный организм обладает избирательной спецификой поглощения веществ, присутствующих в окружающей среде, ответных реакций на нехватку или переизбыток элементов питания и обмена, механизмами и уровнем устойчивости [4, 5]. Поэтому перспективным в данном аспекте явилось применение препаратов, оказывающих влияние на активизацию механизмов адаптации к химическому составу почвы в определенных условиях среды [6, 7]. Кроме того, сведения о содержании и распределении химических элементов в системе почва–растение представляют интерес для обоснования развиваемой в почвоведении структурно-функциональной пирамиды, в которой движению химических элементов придается важное экологическое (охватывающее формирование плодородия почвы) значение [8]. Таким образом, важным является детальное изучение химических свойств и элементного состава почвы, а так же особенностей нахождения элементов в системе почва-растение под влиянием биологически активных веществ (регуляторов роста).

В данной работе рассмотрено изучение элементного состава почвы экспериментального участка Тобольского района и растений мягкой яровой пшеницы сортов Аннет, Икар, Ирень, Рикс атомно-эмиссионным методом индуктивно-связанной плазмы на приборе Оптима 7000 DV. Представлены данные агро-химических свойств, определен тип почвы. Проведено разделение неподвижных и подвижных форм химических элементов, рассмотрено их соотношение. Определены формы соединений подвижных элементов с компонентами почвы и их миграционная способность (по методу Спозито). При анализе подвижных форм была проведена экстракция химических элементов из почвы в водном растворе, являющихся наиболее подвижными и потенциально значимыми для растительного организма. Рассчитан коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) в почве.

В работе исследовано содержание химических элементов в системе почва–растение под действием биологически активных веществ. Оценена роль БАВ в изменении элементного состава растений пшеницы, выращенной в определенных условиях.

### Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в 2009–2011 гг. на экспериментальном участке села Малая Зоркальцева, Тобольского района, Тюменской области, расположенном в соответствии с агро-



климатическим районированием в подтаежной зоне. В качестве объекта исследования были взяты сорта мягкой яровой пшеницы: Аннет, Икар, Рикс, Ирень. Учетная площадь делянок 1 м<sup>2</sup>, повторность опыта 4-х кратная. Норма высева яровой пшеницы составила 650 семян на 1 м<sup>2</sup>. Посев проводили в 2009 и 2011 гг. – 30 мая, в 2010 г. – 6 июня, в зависимости от погодных условий.

Для предпосевной обработки семян использованы биологически активные вещества (активаторы, регуляторы роста): пара-аминобензойная кислота (ПАБК) с концентрацией действующего вещества в растворе 0.001% (ПАБК I), циркон (0.1 мг/см<sup>3</sup> ГКК в спирте) с концентрацией в растворе 5.0×10<sup>-4</sup> г/дм<sup>3</sup> (циркон I) и эпин (0.025 г/дм<sup>3</sup>, 24-эпибрассинолид) – 6.25×10<sup>-6</sup> г/дм<sup>3</sup>. В качестве растворителя и в контрольном варианте была использована бидистиллированная вода, полученная в результате двойной перегонки на бидистилляторе 2302 (Германия). Семена замачивали в растворах препаратов (экспозиция 8 часов, объем раствора 50 см<sup>3</sup>).

Лабораторные исследования выполнены на базе аккредитованной лаборатории «Эко-токсикология» (РОСС RU. 0001.516420) Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения РАН.

Для химического анализа почвы пробы отбирались каждый год буром почвенным по ГОСТ 2816–89 и РД 52.18.156–99 два раза за период вегетации (15 июня и 15 августа – смешная проба). Отбор проводили в 30 точках (30 штук проб с поля, пахотный слой – 30 см), для этого экспериментальный участок был разделен вдоль на три зоны, в каждой по 10 проб.

Режим влажности почвы в течение периода вегетации исследовали по ГОСТ 28268–89. Пробы отбирались в 10 точках с поля по ГОСТ 17.4.3.01 почвобуром в мае (15.05.2009–2011), июне (15.06.2009, 24.06.2010, 26.06.2011), июле (17.07.2009–2011), августе (15.08.2009–2011), сентябре (12.09.2009, 19.09.2010, 17.09.2011) в относительно сухой период месяца – дни без осадков. В качестве вспомогательного оборудования для отбора проб использовали алюминиевые бюксы с крышками – объемом 70 см<sup>3</sup>. В процессе пробоподготовки для взвешивания проб использовали лабораторные электронные весы – ВЛТ-150П и KERN EW 600–2М. Почвенные образцы высушивали в сушильном шкафу ШСП-0,25–200. рН водной вытяжки почвы определяли на 18-и канальном приборе Анион–7050 по ГОСТ 26423–85. Сухой остаток в почве находили по ГОСТ 26423–85.

В исследуемых образцах пахотного слоя почвы определяли количество: анионов, мг·экв –  $Cl^-$  (ГОСТ 26425–85, п.1),  $SO_4^{2-}$  (ГОСТ 26426–85),  $HCO_3^-$  (ГОСТ 26424–85); катионов, мг·экв –  $Mg^{2+}$  (ГОСТ 26487–85),  $Ca^{2+}$  (ГОСТ 26487–85); биогенных веществ, мг/кг –  $NH_4^+$  (ГОСТ 26489–85),  $NO_2^-$  (ГОСТ 26107–84),  $NO_3^-$  (ГОСТ 26488–85),  $H_2PO_4^-$  и  $HPO_4^{2-}$  (ГОСТ 26207–84). Определение гумуса проводили по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (%).

Валовое и фракционное содержание химических элементов (*As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Zn*) в смешанной пробе каждого года в образцах почвы и растений определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре (ИСП) OPTIMA-7000 DV (Perkin Elmer) в двукратной повторности. Пробоподготовка для определения элементного состава растений и неподвижных форм химических элементов осуществлялась с получением кислотных вытяжек (применялись особо чистые кислоты  $HNO_3$  и  $HCl$ , дополнительно прошедшие перегонку в системе очистки BSB-939-IR) в системе микроволнового разложения под давлением Speedwave MWS-2 (производства Германии BERGHOF Products+Instruments GmbH), с использованием индивидуально подобранного режима. Пробы готовились в терапластовых сосудах – DAC-60, для прибора OPTIMA-7000 DV. Навески, использованные в опыте: 0.3 гр для вегетативной массы и зерна, 4.0 гр для почвы. Данный метод разложения проб был использован впервые после многочисленных опытов при использовании рекомендательной инструкции по разложению проб в определенных режимах BERGHOF Products+Instruments GmbH Labor-Technik.

Для определения химического состава вегетативной части (соломина и листья) растений в опытных вариантах в четырехкратной повторности (контроль и варианты с предпосевной обработкой семян: циркон I, эпин I и ПАБК I (у сорта Аннет)), с каждой делянки было взято по 5 растений в фазе колошения. Колос и корневую часть отделяли, соломину и листья высушивали. После чего сухая зеленая масса растений с каждой делянки тщательно измельчалась, образцы проб с повторностями смешивались друг с другом, и получалась смешанная проба для анализа. Аналогичным образом готовились образцы проб зерна в тех же вариантах опыта, в фазе полной спелости. После уборки культуры (11–18 сентября) колосья обмолачивались на молотилке колосковой МК-1, полученное зерно в навеске 20 гр с каждой делянки, перемалывалось, полученная мучнистая масса с повторностями опыта тщательно смешивалась.

Для фракционирования химических элементов наиболее эффективным оказался метод Спозито, который позволил обнаружить подвижные и водорастворимые соединения элементов



в образцах почв 2009–2011 гг. Последовательно применяя различные экстрагенты для поэтапного извлечения из почвы элементов, рассчитывали на соответствующее смещение спектрального воздействия с одного на другой компонент почвы или вид реакционных центров с поэтапным переводом в раствор ионов металлов, которые с ним связаны. Условия последовательной экстракции химических элементов из почвы, представлены в таблице 1. Навеска пробы почвы составила 2 гр.

Таблица 1

## Условия последовательной экстракции химических элементов из почвы по методу Спозито

Этап	Фракции элементов	Схема экстракции
1	Обменная ( $Me_{обм}$ )	25 см <sup>3</sup> 1М аммония уксуснокислого, непрерывное встряхивание 16 часов. Извлечение «обменного» элемента».
2	Водорастворимая ( $Me_{вод}$ )	25 см <sup>3</sup> бидистиллированной воды, непрерывное встряхивание по 2 часа три раза. Общий объем водной вытяжки – 75 см <sup>3</sup> .
3	Органическая ( $Me_{орг}$ )	25 см <sup>3</sup> 1М серной кислоты, непрерывное встряхивание 16 часов. Окислительный этап: извлечение элемента, закрепленного органическим веществом.
4	Карбонатная ( $Me_{карб}$ )	25 см <sup>3</sup> 0,05 М трилона Б, непрерывное встряхивание 6 часов. Извлечение элемента, связанного с карбонатами.
5	Оксидная ( $Me_{карб}$ )	25 см <sup>3</sup> 0,04 М солянокислого гидроксилamina в 25%-ной уксусной кислоте, кипящая водяная баня – 8 часов. Редуцирующий этап: извлечение элемента, закрепленного оксидами Fe и Mn.
6	Остаточная ( $Me_{карб}$ )	25 см <sup>3</sup> 5М азотной кислоты, кипящая водяная баня – 6 часов. Извлечение остатка.

На каждой стадии фракционирования суспензия после экстрагирования фильтровалась через двойной обеззоленный фильтр ФМ (ООО «Бавер») «Синяя лента» (диаметр фильтра 110 мм, ТУ2642-13927158-2003), предварительно промытый 30 см<sup>3</sup> применяемого экстрагента. Частицы почвы тщательно вымывались из использованного фильтра 25 см<sup>3</sup> последующего реагента для следующего этапа фракционирования, полученный раствор с почвой снова отправлялся на встряхивание (прибор для встряхивания жидкостей – Т 2, KAVALTER) для получения очередной вытяжки, за исключением 5 и 6 этапа (в данном случае – кипящая водяная баня).

При выделении градаций содержания отдельных химических элементов в почвах использовались существующие ПДК для почв [2, 9] и шкала нормирования концентраций элементов в почвах [10]. В качестве фонового ориентира в опыте был взят условный мировой кларк почв [11].

Рассчитан коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ), представляющий отношение фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг к кларку почвы (мировое значение почв), фоновому показателю этого элемента ( $C_\phi$ ):

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}$$

Коэффициент концентрации показывает интенсивность накопления элемента в почве по отношению к природному фону.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с использованием программы Microsoft Excel 2007 и «STATAN».

### Результаты и их обсуждение

По результатам профилирования установлено, что почва участка, хорошо окультуренная остаточно-карбонатная дерново-мелкоподзолистая на древнеаллювиальных отложениях. Поверхность волнистая, признаков эродированности нет, характер профиля – простой ненарушенный. Признаки текстурной и структурной неоднородности профиля – прослой тяжелого до горизонта В и легкого гранулометрического состава в горизонте С. Признаки оглеения отсутствуют, признаки карбонатности – слабые. Мощность профиля – 110 см. Почвообразующая порода – песчаные аллювиальные отложения первой надпойменной террасы реки Иртыш.

Кислотность почвы выражается отрицательным логарифмом концентрации водородных ионов рН. Почва экспериментального участка относится к слабощелочному типу и имеет рН среды 7.70. Сухой остаток – показатель засоленности почв и в норме не должен превышать 0.30%, в почвенных образцах он равен 0.35%. Химизм засоления определяется количеством анионов и катионов в почве. В данном случае анионно-катионный состав соответствует благоприятному для растений уровню и определяет хорошую поглощательную способность почвы. Количество анионов составило (мг·экв):  $Cl^-$  – 0.35±0.05;  $SO_4^{2-}$  – 2.43±0.16;  $HCO_3^-$  – 0.29±0.02. Катионы определены в следующем соотношении (мг·экв):  $Mg^{2+}$  – 1.81±0.19;  $Ca^{2+}$  – 6.21±0.42.



Обнаружены биогенные вещества (мг/кг):  $NH_4^+$  – 15.50±1.60;  $NO_2^-$  – 11.03±0.02;  $NO_3^-$  – 4.20±0.80;  $H_2PO_4^-$  и  $HPO_4^-$  – 320.00±16.00. Следовательно, азот в почве представлен в трех формах: аммонийной ( $NH_4^+$ ), нитратной ( $NO_2^-$ ), нитритной ( $NO_3^-$ ), в почве его содержится достаточное количество. Фосфор доступен в подвижных формах  $H_2PO_4^-$  и  $HPO_4^-$ , находится в почве в большом количестве. Содержание гумуса в почве не высокое, во времени менялось незначительно: 2009 г. – 1.86%, 2010 г. – 1.45%, 2011 г. – 1.76%.

Влажность почвы в течение вегетационного периода, является важным показателем прохождения растительным организмом этапов онтогенеза, начиная с момента прорастания семян. Значимый месяц по влажности почвы в условиях года – июнь. В этом месяце влажность составила: в 2009 г. – 11.7%, 2010 г. – 13.6%, 2011 г. – 39.4%. Следовательно, в 2011 г. содержание влаги в почве было наиболее благоприятным для дружных и полноценных всходов, роста и развития растений яровой пшеницы. Июнь 2009 и 2010 гг. явился критическим для растений по содержанию влаги в почве, что сказалось на формировании всходов и выживаемости растений. Важным периодом в потреблении воды считается фазы выхода в трубку и колошения, то есть период образования репродуктивных органов, который в наших исследованиях приходился на июль. Максимально сложные условия для пшеницы наблюдались в июле 2010 г., характеризовавшегося дефицитом осадков на фоне повышенных температур воздуха. Влажность почвы в этот период не превышала 6.8%. Низкая влажность почвы (9.0%) отмечалась в августе 2011 г., когда проходила фаза молочного состояния зерна, и растения пшеницы в этот период потребляют 20–30% от всей влажности в период вегетации.

Определение количественного и качественного состава химических элементов почвы в неподвижных формах является важным и значимым для растений (табл. 2). Неподвижные формы связаны с различными компонентами почвы, её твердой фазой, минеральной частью и определяются физико-химическими свойствами. Данные формы элементов в меньшей степени доступны для растительного организма, но при определенных условиях и физико-химических изменениях в почвенном слое они могут переходить в подвижные и участвовать в обменных и миграционных процессах.

Таблица 2

**Неподвижные формы элементов в почве экспериментального участка за годы исследования, мг/кг**

Элемент	2009	2010	2011	Среднее значение за 2009–2011гг.
As	0.73±0.00. CV=10.61	–	0.57±0.01. CV=3.54	0.65±0.01. CV=17.40
Ca	261.70±9.76. CV=5.98	295.50±6.58. CV=4.34	297.40±2.13. CV=2.89	284.90±11.6. CV=7.05
Cd	–	–	–	–
Co	–	–	–	–
Cr	3.62±0.04. CV=10.87	4.42±0.02. CV=3.23	3.59±0.01. CV=2.03	3.88±0.27. CV=12.18
Cu	0.53±0.01. CV=4.87	0.60±0.01. CV=3.13	0.56±0.01. CV=3.10	0.57±0.01. CV=6.32
Fe	78.32±1.45. CV=12.76	60.89±0.87. CV=8.07	59.79±0.54. CV=5.43	66.33±6.00. CV=15.67
Mg	253.3±1.34. CV=5.78	206.00±2.01. CV=6.07	198.30±1.87. CV=4.98	219.2±17.19. CV=13.59
Mn	68.57±1.12. CV=5.92	67.15±2.42. CV=7.32	59.22±2.76. CV=8.76	64.98±2.90. CV=7.75
Mo	0.40±0.01. CV=4.32	0.36±0.00. CV=3.14	0.40±0.00. CV=1.89	0.39±0.01. CV=5.63
Ni	2.33±0.43. CV=11.84	0.57±0.00. CV=2.32	1.08±0.01. CV=2.67	1.33±0.53. CV=68.40
Pb	8.77±0.56. CV=8.76	5.83±0.14. CV=6.05	5.63±0.54. CV=6.77	6.74±1.01. CV=26.08
Sb	–	–	–	–
Sr	0.93±0.01. CV=12.54	1.07±0.01. CV=5.98	1.13±0.01. CV=4.88	1.04±0.00. CV=9.80
Zn	4.55±0.02. CV=4.67	1.17±0.01. CV=3.44	2.20±0.02. CV=5.21	2.64±0.99. CV=65.58

По результатам статистической обработки данных и анализа годовой динамики установлено, что количество неподвижных форм для большинства элементов в исследуемой почве остается относительно постоянным и находится в пределах ошибки опыта за годы исследования (см. табл. 2). Наблюдается небольшое увеличение содержания кальция и стронция в годовом плане, максимумы отмечены в 2011 году. Выявлена годовая тенденция снижения содержания: железа от 326.89 мг/кг (2009 г.) до 190.94 мг/кг (2011 г.); магния – 325.18–265.87 мг/кг; марганца – 68.57–59.22 мг/кг; свинца – 8.77–5.63 мг/кг, соответственно. По содержанию, в виде неподвижных соединений, связанных с компонентами почвы элементы можно условно разделить на две группы: кальций, железо, магний, марганец в неподвижных формах находятся в



большом количестве и образуют малую группу, остальные химические элементы имеют низкое содержание в неподвижных формах и образуют большую группу микроэлементов.

В опыте были выявлены подвижные формы (способные к миграции и возможности активного участия в биохимических процессах в системе почва-растение) элементов и проведено их разделение по фракциям, с целью выявления роли отдельных химических элементов для растительного организма. Фракционирование по методу Спозито позволило классифицировать элементы по их подвижности, оценить прочность связи с почвенными частицами и взаимодействие с теми или иными компонентами почвы.

Для элементов *As*, *Ca*, *Cd*, *Co*, *Mo*, *Ni*, *Pb* доминантными являются фракции – обменная (от 26.7% – *Ni*, до 29.1% – *Co*, от общего количества подвижных форм), органическая (от 26.6% – *As*, до 34.3% – *Ca*) и водорастворимая (от 18.2% – *Ca*, до 21.8% – *Co*). То есть элементы связаны как с различными составляющими почвы (минеральными компонентами, гидроксидами и оксидами, коллоидами), так и с органическим веществом, практически в равных соотношениях, и образуют с ними прочные комплексы. Эти фракционные соединения играют основную роль в питании растений. Водорастворимые формы химических элементов почвы наиболее подвижны, поэтому потенциально более мобильны, так как переносятся поверхностными и грунтовыми водами и легко вовлекаются в биогеохимическую миграцию, так же доступны для растения и участвуют в их питании. Кроме того обменная и водорастворимая фракция является непосредственным резервом питания растений.

Большая часть содержания *Mg* и *Sr* в почве так же приходится на органическую (28.8% и 27.1%) и обменную фракцию (22.1% и 26.9%); 17.1% *Mg* от общего содержания подвижных форм находится в остаточной фракции. Это стратегический резерв, связанный с карбонатами и гидрокарбонатами *Fe*, *Mn*. Доля марганца в органической фракции составляет 60.6%, и лишь 16.7% содержится в обменной. В почве экспериментального участка содержится органического железа – 39.1%, оксидного – 28.6%, остаточного – 26.2%. Таким образом, железо в почве представлено (большой частью) в виде устойчивых комплексов с органическим веществом. Значительно меньше его присутствие в виде катионов и гидратов полуторных окислов в коллоидно-растворимой форме.

Медь в исследуемой почве связана с карбонатами и гидрокарбонатами, находится лишь в одной фракции – карбонатной (100%). Цинк представлен оксидной фракцией (91.3% от общего содержания подвижных форм) и лишь 8.7% элемента представлено в остаточной фракции. Цинк образует, прочные поверхностные комплексы и высвобождается при разрушении гидроксидов *Fe* и *Mn*.

Установлено, что все элементы кроме *Zn* и *Cu* в разных количествах обнаруживаются во всех исследуемых фракциях и находятся в почве в неподвижных и подвижных формах, представляя собой ее валовый состав. Большая часть обнаруженных элементов находится в обменной, органической и водорастворимой форме, и является непосредственным источником питания растений.

Процентное соотношение подвижных и неподвижных форм элементов в почве экспериментального участка представлено на рисунке.

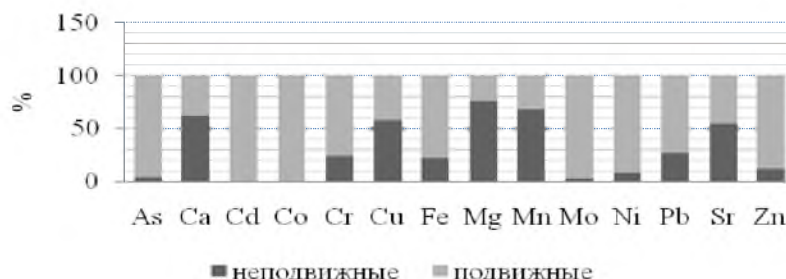


Рис. Соотношение форм химических элементов в почве экспериментального участка, среднее 2009–2011 гг.

В исследуемой почве элементы *As*, *Cr*, *Fe*, *Mo*, *Ni*, *Pb*, *Zn* находятся в большей степени в подвижных формах, т. е. значительная часть (количество) элемента от общего количества всей химической совокупности почвы активно вступает в биохимическую миграцию, доступна для растений. Неподвижные формы *Ca*, *Cu*, *Mg*, *Mn*, *Sr* по отношению к подвижным – доминантны в почвенном слое. Большее их количество находится в связанной форме с компонентами почвы, что определяется физико-химическими особенностями почвы данного типа, и обуславливает способность данных элементов образовывать хелатные соединения с органическим веществом почвы и становиться временно не доступными для растений. Что находит подтверждение в исследованиях по установлению ниспадающего ранжированного ряда элементов, способных образовывать органо-минеральные комплексы [12,13]. И лишь два элемента – *Cd* и *Co*



находятся в почве только в подвижных формах. Элементов, представленных только неподвижными формами, выявлено не было.

В таблице 3 представлено валовое содержание химических элементов в почве экспериментального участка в сравнении с условным мировым кларком и ПДК. Оценка концентрации химического вещества ( $K_c$ ) проведена по А.Ю. Озерскому [14]:  $K_c \leq 0.7$ , содержание элемента критически низкое,  $K_c \geq 1.5$  накопление элемента в почве.

Таблица 3

**Валовое содержание химических элементов в почве экспериментального участка, среднее 2009–2011 гг.**

Элемент	Валовое содержание, мг/кг	Условный мировой кларк почв, мг/кг	$K_c$	ПДК, мг/кг
<i>As</i>	16.95±0.18. CV=1.50	30	0.11<0.70	50
<i>Ca</i>	456.00±18.66. CV=5.86	1200	0.38<0.70	1800–2000
<i>Cd</i>	6.83±0.00. CV=0.00	2.0	3.42>1.50	3.0–8.0
<i>Co</i>	16.85±0.00. CV=0.00	10	1.61>1.50	25–50
<i>Cr</i>	16.43±0.00. CV=0.57	200	0.08<0.70	75–100
<i>Cu</i>	0.99±0.19. CV=34.20	20	0.04<0.70	60–125
<i>Fe</i>	301.73±21.62. CV=10.07	-	-	-
<i>Mg</i>	288.93±29.66. CV=14.19	800	0.37<0.70	1600
<i>Mn</i>	96.65±1.97 CV=2,92	850	0.11<0.70	1500–3000
<i>Mo</i>	16.23±0.00. CV=0.17	2.0	8.12>1.50	50
<i>Ni</i>	17.04±0.64. CV=5.24	40	0.44<0.70	100
<i>Pb</i>	25.71 ±1.64. CV=8.84	10	2.62>1.50	100–200
<i>Sr</i>	1.89±0.12. CV=8.67	300	0.01<0.70	500
<i>Zn</i>	21.72±1.28. CV=8.06	50	0.38<0.70	70–400

По результатам определения концентраций химического вещества в почве установлено, что по сравнению с условным мировым кларком химические элементы в фоновой выборке образуют две группы.

Для элементов 1-й группы – *Co*, *Mo*, *Pb*, *Cd*, характерно повышенное содержание валовых форм в почве относительно кларка, что свидетельствует о накоплении этих веществ, но не выше уровня ПДК. Коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) составляет от 1.61 ед. – *Co* до 3.42 ед. – *Cd*. Повышенное содержание данных элементов может быть обусловлено геохимическими особенностями почвообразующих пород.

Более обширная, 2-я группа элементов – *Mn*, *Cr*, *Sr*, *As*, *Ni*, *Cu*, *Zn*, *Mg*, *Ca*, *Fe*, обнаруживает недостаточность по отношению к кларку, критически низкое его содержание в почве, что позволяет говорить о выносе элементов.

Таким образом, почва экспериментального участка характеризуется достаточно большим набором химических элементов (*As*, *Ca*, *Cd*, *Co*, *Cr*, *Cu*, *Fe*, *Mg*, *Mn*, *Mo*, *Ni*, *Pb*, *Sb*, *Sr*, *Zn*) и благоприятным распределением по фракциям, но содержание их в валовом плане не высокое. По реакции *pH* – почва слабощелочного типа, что в определенной степени способствует удержанию элементов питания при поступлении их в корневую систему растений. Питание, рост и развитие растений осуществляется в этом случае за счет подвижных форм элементов, способных к переходу в различные фракции.

В растениях изучаемых сортов, обнаружены 7 химических элементов из 15 определенных в почве – кальций, медь, железо, магний, марганец, стронций, свинец. Это, видимо, объясняется относительно высоким валовым содержанием в почве на фоне других элементов и избирательной потребностью самого растения, а так же нахождением этих элементов в подвижных и неподвижных формах (более выгодное соотношение форм).

На основании статистически обработанных данных, установлено, что элементный состав растений яровой пшеницы изменяется под влиянием регуляторов роста (табл. 4). Экспериментальные данные по сорту Аннет показывают, что содержание *Ca*, *Mg*, *Mn* возросло в вегетативной части растения и зерне при предпосевной обработке цирконом и эпином, а также обнаружен *Pb* в этих вариантах, в отличие от контроля. В то время, когда эти элементы в почве находились в малодоступной для растений форме. Практически равное снижение содержания *Cu* в зеленом растении и зерне, по отношению к контрольному варианту в среднем на 19.5%, получено в опытах с цирконом и эпином. Повышенное содержание железа отмечено под действием тех же регуляторов в вегетативных органах растения, в зерне сорта Аннет элемент не





обнаружен. Содержание *Sr* достоверно возросло после обработки семян пшеницы эпином, по сравнению с контролем. Минимальные концентрации циркона и эпина в опыте способствовали, главным образом, повышению содержания элементов в вегетативной части и зерне. Тогда как максимальная концентрация ПАБК, использованная в нашем эксперименте, привела к существенному снижению элементов в растении. Известно, что регуляция и активация процессов метаболизма растений пшеницы под влиянием ПАБК в стрессовых условиях осуществляется за счет повышения содержания витаминов, а не микро- и макроэлементов.

Таблица 4

**Содержание химических элементов в вегетативной части растений  
и зерне мягкой яровой пшеницы, мг/кг**

Сорт	Варианты опыта	Элементы в зеленой части растения						
		<i>Ca</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Sr</i>	<i>Pb</i>
Аннет	контроль	406.60±2.39 28.91±0.03	1.99±0.00 2.90±0.03	8.97±0.09 0.65±0.00	180.40±1.44 111.20±0.09	2.78±0.05 0.44±0.01	2.61±0.02 0.10±0.01	—
	циркон I	501.90±0.26* 30.06±0.11*	1.60±0.00* 2.25±0.01*	18.52±0.02* —	201.90±0.34* 122.20±0.18*	3.29±0.00* 0.51±0.02*	2.56±0.02* 0.08±0.01*	0.20±0.00 —
	эпин I	541.70±0.85* 30.90±0.32*	1.61±0.01* 2.26±0.02*	16.95±0.08* —	201.20±2.33* 129.10±1.12*	3.40±0.01* 1.58±0.01*	2.72±0.02* 0.08±0.01*	0.19±0.05 —
	ПАБК I	38.00±0.14* 28.54±0.10*	0.15±0.00* 0.24±0.01*	0.88±0.02* 0.35±0.00*	13.84±0.24* 10.56±0.11*	0.24±0.00* 0.02±0.00*	0.21±0.02* 0.02±0.00	—
Икар	контроль	565.60±2.48 41.19±1.02	1.98±0.02 2.26±0.03	12.63±0.07 7.62±0.04	223.10±1.02 129.90±0.05	4.61±0.01 2.68±0.01	3.29±0.03 0.19±0.01	—
	циркон I	528.70±0.87* 46.81±0.01*	1.99±0.05* 2.31±0.08*	11.11±0.02* 0.36±0.00*	210.70±0.30* 164.30±0.21*	4.89±0.03* 3.37±0.05*	3.41±0.03* 0.15±0.01*	—
	эпин I	554.70±0.96* 46.97±0.05*	2.36±0.02* 2.27±0.02*	13.67±0.03* 0.55±0.01*	234.80±0.45* 153.10±0.05*	5.12±0.03* 5.46±0.03*	4.23±0.04* 0.16±0.01*	—
Ирень	контроль	548.50±3.40 31.28±1.13	1.95±0.02 2.30±0.01	10.88±0.03 1.11±0.01	254.60±0.30 147.10±1.02	2.65±0.02 1.93±0.01	3.47±0.01 0.12±0.01	—
	циркон I	570.10±2.20* 31.76±1.08*	1.96±0.01* 2.30±0.02*	13.54±0.05* 2.21±0.01*	220.20±2.88* 139.40±1.15*	2.43±0.00* 1.94±0.01*	3.41±0.03* 0.13±0.03*	—
	эпин I	527.40±2.13* 31.45±0.13*	1.97±0.02* 2.57±0.03*	11.22±0.01* 2.77±0.01*	239.90±0.66* 150.90±0.05*	2.29±0.01* 2.46±0.01*	3.46±0.01* 0.15±0.02*	—
Рикс	контроль	542.80±4.43 30.07±0.06	1.97±0.00 2.26±0.02	11.10±0.09 1.35±0.01	206.20±0.26 125.40±0.01	3.93±0.05 2.53±0.02	3.04±0.01 0.09±0.01	—
	циркон I	515.50±0.22* 28.98±0.05*	1.93±0.03* 2.28±0.04*	6.53±0.01* 0.47±0.01*	184.50±2.50* 147.80±1.08*	3.05±0.01* 2.63±0.01*	3.14±0.01* 0.10±0.01*	—
	эпин I	527.40±2.13* 31.45±0.01*	1.96±0.04* 3.26±0.05*	9.15±0.02* 0.55±0.02*	202.50±2.11* 169.00±1.26*	3.40±0.05* 3.13±0.02*	3.06±0.01* 0.07±0.01*	—

Примечание: \* - достоверность по отношению к контролю; над чертой – содержание элемента в вегетативной части растения, под чертой – содержание элемента в зерне.

У сорта Икар в противоположности с пшеницей сорта Аннет было обнаружено достоверное высокое содержание *Cu* в растениях опытных вариантов. Количество *Mn* также возросло в зеленой части растения и зерне. Обработка семян пшеницы позволила достичь большего содержания *Ca* лишь в зерне растений. Предпосевное воздействие цирконом повысило количество *Mg* в зерне на 34.4 мг/кг по отношению к контролю, эпином и в надземной части растения и в зерне. Количество *Fe* общего сократилось в пробах зерна с цирконом на 92.7%, с эпином – на 95.2%. Содержание железа большее, чем в контрольном варианте наблюдали при обработке эпином в вегетативной части растений. Стронций в минимальном количестве отмечен в зерне опыта, в максимальном в солоmine и листьях.

Неодинаковая реакция сортов на действие регуляторов роста подтверждается также данными, полученными при анализе химического состава растений сорта Ирень. Этот сорт оказался наиболее отзывчивым на предпосевную обработку цирконом и эпином. Так получено достоверное максимальное значение по содержанию в растениях (в вегетативной части и зерне) элементов: *Ca*, *Cu*, *Fe*. Магния больше находилось в зерне растений в варианте с эпином, разница с контролем составила 3.8 мг/кг. В остальных случаях наблюдали низкое содержание этого элемента. Марганца обнаружилось незначительно больше контрольного уровня в зерне варианта с эпином – на 0.57 мг/кг. Количество стронция возросло до 0.13 мг/кг (циркон) и 0.15 мг/кг (эпин) при контрольном значении – 0.12 мг/кг (см. табл. 4).



На предпосевную обработку растения сорта Рикс реагировали высоким содержанием *Ca*, *Cu*, *Mg* в зерне при сравнении с контролем, которое сочеталось с минимальным значением этого элемента в зеленой части растений в вариантах опыта. Противоположная ситуация прослеживается с *Mn* при низком содержании элемента в соломине и листьях, отмечено высокое содержание в зерне (разница с контролем: 0.1 мг/кг – циркон, 0.6 мг/кг – эпин). Относительно высокие показатели количества железа в зерне яровой пшеницы получены в результате обработки эпином. В остальных случаях прослеживается значительное достоверное снижение элемента. Содержание *Sr* в зеленой части растения и зерне пшеницы возросло при влиянии циркона на семена культуры, а воздействие эпина понизило количество элемента в зерне. Обработка эпином способствовала незначительной положительной разнице в содержании стронция в надземной части растений по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, регуляторы, применяемые в опыте, оказали воздействие на изменение химического состава сортов мягкой яровой пшеницы в вариантах опыта и способствовали количественному и качественному изменению их содержания. Реакция сортов на предпосевную обработку цирконом, эпином и ПАБК (сорт Аннет) оказалась различной: по степени проявления признака, по качеству (снижение или повышение количества элемента), по доминантному распределению элементов в органах растения. С помощью регуляторов роста может достигаться улучшение химического состава вегетативной части растения, а также зерна.

Установлены взаимосвязанные тенденции, повышения или снижения некоторых химических элементов в зерне мягкой яровой пшеницы аналогичных с процессами варьирования содержания этих элементов в зеленой части растения под действием регуляторов. Эти данные подтверждаются результатами корреляционных связей между количеством элемента в зеленой части растения и зерне. Достоверная прямая связь ( $P=0.95$ ) установлена для элементов: меди ( $r=0.85$ ), магния ( $r=0.90$ ), марганца ( $r=0.73$ ), стронция ( $r=0.80$ ). Слабая корреляционная связь выявлена для элементов: кальция ( $r=0.36$ ) и железа ( $r=0.07$ ).

Было отмечено также несоответствие аналогичных процессов повышения или снижения количества элементов в зерне и надземной части растения. Так, например, повышение содержания элемента в соломине и листьях не способствовало увеличению его количества в зерне культуры, и наоборот – зафиксированный статистически достоверный максимум значения элемента в зерне совпадал с минимумом в вегетативной части растения. Характер распределения и накопления химических элементов заметно варьирует как для разных элементов, так и по сортам, на него непосредственно влияют применяемые регуляторы роста (см. табл. 4).

Таким образом, реакции растений на химические стрессы, вызванные недостатком или избытком элементов, нельзя рассматривать, как определенные раз и навсегда, потому что у растений в ходе эволюции и в течение онтогенеза вырабатываются механизмы, приводящие к адаптации и нечувствительности к изменению и нарушению химического баланса в окружающей среде. Регуляторы роста, по-видимому, способствуют активации или нормализации этих внутренних механизмов в растительном организме для регуляции процессов поступления химических элементов в конкретной системе почва–растение. Химический состав растений способен отражать в целом элементный состав среды роста. Однако степень проявления этой связи чрезвычайно изменчива и зависит от многих разнородных почвенно-климатических факторов. В целом, регуляторы роста оказали положительное влияние на химический состав сортов яровой пшеницы в конкретных агро-климатических условиях. Химические стрессы можно контролировать с их помощью, определять норму реакции взаимодействия в системе почва–растение для каждого сорта, так как способность растений, поглощать элементы весьма изменчива, что находит подтверждение в результатах опыта.

### Заключение

Почва экспериментального участка Тобольского района хорошо окультуренная остаточной-карбонатная дерново-мелкоподзолистая на древнеаллювиальных отложениях, со слабощелочной реакцией почвенного раствора, характеризуется достаточно большим набором химических элементов (*As*, *Ca*, *Cd*, *Co*, *Cr*, *Cu*, *Fe*, *Mg*, *Mn*, *Mo*, *Ni*, *Pb*, *Sr*, *Zn*), но содержание их не высокое и зависит от физико-химических особенностей данного типа почвы. Исследуемые элементы в опыте представлены в неподвижных и подвижных формах, образуя её валовый состав. Подвижные формы элементов находятся в доминантном количестве обменных, органических и водорастворимых соединений, являющихся наиболее важными для растительного организма.

В растениях пшеницы сортов Анет, Икар, Ирень, Рикс обнаружены химические элементы: кальций, медь, железо, магний, марганец, стронций, свинец, что определяется валовым содержанием этих элементов почве и соотношением форм соединений. Регуляторы, применяемые в опыте, оказали воздействие на изменение элементного состава растений, наблюдаются





межсортовые отличия, как в контрольных, так и опытных вариантах. Реакция сортов на предпосевную обработку цирконом, эпином и ПАБК (сорт Аннет) оказалась различной: по степени накопления химического элемента, по качеству, по доминантному распределению элементов в органах растений. Применение регуляторов роста на растениях данной культуры можно рассматривать как перспективное направление, позволяющее нивелировать неблагоприятные химические изменения почвенной среды.

### Список литературы

1. Количественные показатели распределения веществ в системе почва–растение / Л.И. Белых, И.А. Рябчикова, В.А. Серышев и др. // *Агрохимия*. – 2007. – №2. – С. 197–207.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Елькина Г.Я. Поведение цинка в системе почва–растение в условиях Европейского северо-востока // *Агрохимия*. – 2009. – №11. – С. 57–64.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
5. Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В. Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва–растение // *Химия в сел. Хоз-ве*. – 1985. – №6. – С. 45–48.
6. Прусакова Л.Д., Малеванная Н.Н., Белоухов С.Л., Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений с антистрессовым и иммунопротекторными свойствами // *Агрохимия*. 2005. № 11. С. 76–86.
7. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
8. Ильин В.Б. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почва–сельскохозяйственная культура // *Агрохимия*. – 2006. – №3. – С. 52–59.
9. ГН 2.1.7.2041-06
10. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы (экологические проблемы химии биосферы и здоровья населения). – Новосибирск: ВО Наука, сиб отд-е, 1993. – 168 с.
11. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. – Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 264 с.
12. Безуглова О.С., Вальков В.Ф., Казеев К.Ш. Влияние высоких концентраций тяжелых металлов на гумусное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного // *Изв. высш. уч. завед. Северо-Кавказ. регион. Естественные науки*. – 1999. – №2. – С. 65–71.
13. Мыслова Т.Н. Тяжелые металлы в урбаноземах парково-рекреационных ландшафтов г. Житомир // *Агрохимия*. – 2011. – №1. – С. 67–74.
14. Озерский А.Ю. Основы геохимии окружающей среды: учеб. пособие. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 316 с.

## THE MAINTENANCE OF CHEMICAL ELEMENTS IN SYSTEM THE SOIL-PLANT UNDER THE INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS

**I.A. Dudareva (Cherkashina)<sup>1</sup>,  
N.A. Bome<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *The Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the RASciences, 15 Akademika Yuriya.Osipova St., Tobolsk, 626150, Russia*

*E-mail: sovet29@rambler.ru*

<sup>2</sup> *Tyumen State University, 10 Semakov St., Tyumen, 625003, Russia*

*E-mail: bomena@mail.ru*

The results of a study of the chemical elements in the soil of Tobolsk district are presented. Total content of the elements and their forms were studied. In the work the results of the phase-elemental fractionation method Sposito, for the purpose of determining the forms of compounds and their values for a vegetative organism are given. The chemical composition of the four zoned in the Tyumen region varieties of soft spring wheat was studied. Intervarietal differences of wheat in the ability of assimilation of the elements were shown. It is established that the qualitative and quantitative elemental composition of plants of this culture can change under the influence of biologically active substances by means of activation of adaptation to the receipt of chemical elements from the soil solution.

Keywords: growth regulators, wheat, grade, soil, chemical elements.