

жүргізілді. Сонымен қатар, ақшыл жусанның каллустық ұлпаларының құрамындағы биологиялық белсенді заттарды анықтау мақсатында химиялық анализдер жасалды.

Мөлиерлік және сапалық анализдер нәтижесінде ақшыл жусанның каллустық ұлпаларында леукомизин және аустрицин сесквитерпенді лактондары бар екендігі анықталды.

Resume

The researches on the obtaining of callus culture of Artemisia leucodes were carried out. The dynamics of the growth activity was studied as well as the chemical analyses on the content of biologically active substances in the callus biomass of Artemisia leucodes were carried out.

The presence of sesquiterpene lactones of leucomisin and austruicin was determined by results of the quantitative and qualitative analysis in the callus tissue of Artemisia leucodes.

УДК 504.05:664.94:546.48:582

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА РОСТ И НАКОПЛЕНИЕ КАДМИЯ ПРОРОСТКАМИ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫХ, ЗЛАКОВЫХ И БОБОВЫХ

Д.А. Аскарова, М.С. Панин

Семипалатинский государственный педагогический институт

Введение

Пылевые выбросы промышленных предприятий – один из основных способов поставки в среду химических элементов и их соединений. Осаждение пыли на подстилающую поверхность приводит к изменению физико-химических характеристик почв и к формированию в них зон техногенного загрязнения. Пыль, осажённая с атмосферными осадками и содержащая широкий комплекс химических элементов, в составе талого и дождевого стока поступает в водные объекты. В результате снижается урожайность (в точности зерновых), плодородие, произрастающие на загрязнённых почвах травы, попадая в организм домашнего скота, наносят ему ощутимый вред, а также вред людям, употребляющим в пищу молочные продукты и мясо данного скота. А всему виной ТМ и вредные химические элементы, которые в большом количестве скапливаются в почвах.

Город Семипалатинск (ныне Семей) характеризуется наличием крупных и мелких предприятий. Одним из мощных загрязнителей атмосферы города в плане пылевых выбросов является завод по производству цемента. Среднее количество пылевых выбросов от цементного производства составляет 1210,5 тонн в год.

В данной работе было изучено влияние пылевых выбросов цементного производства на рост и накопление кадмия проростками яровой ржи сорта Онохойская, горчицы листовой и гороха посевного сорта Урожайный.

Объекты и методы исследования

Согласно методике З.И. Журбицкого [1] был заложен модельный опыт продолжительностью 30 суток. Для опытов выбрали незагрязненную фоновую темно – каштановую среднесуглинистую почву, отобранную в 60 км от города Семей на полях бывшей сельскохозяйственной опытной станции. Содержание гумуса в исходной почве 1,23 %, физической глины – 8,7%, $pH_{\text{водн}}$ - 7,11, илстой фракции – 4,9%, ЕКО – 9,1 м-экв/100 г. По градации В.Б. Ильина [2], изучаемая почва по степени буферности к загрязнению тяжелыми металлами является средней. Технологическую пыль цементного производства собирали с фильтров. В литературе [3; 4; 5; 6] имеются сведения о том, что в больших количествах ТМ из почвы и воды извлекают растения семейства крестоцветных (капустных), злаковых и бобовых, поэтому в качестве тест – объектов выбрали растения, принадлежащие к этим семействам: рожь яровая (*Sekale sereale* L.), горчица листовая (*Brassica juncea* L.) и горох посевной (*Pisum sativum* L.). Искусственное загрязнение пылью производили в сухом виде в соотношениях 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 и 15,0% пыли к 1 кг воздушно-сухой массы почвы в пластиковый сосуд, рассчитанный на 1 кг почвы. В контрольный вариант пыль не вносили. За 100% принимали зелёную массу растения и корни, выращенные на контрольной почве в одинаковых условиях с вариантами загрязнения.

Валовое содержание кадмия в исследуемой пыли и почве определяли атомно-абсорбционным методом, концентрацию мобильных форм соединений кадмия в пыли и почве и содержание кадмия в корнях и надземной части проростков – фотоколориметрическим химическим методом по прописи Г.Я. Ринькиса [7]. Определяли водорастворимую форму кадмия (экстрагент бидистиллированная вода), кислоторастворимую (1 н. раствор соляной кислоты) и обменную (ацетатно-аммонийный буферный раствор с $pH = 4,8$).

Фитотоксический эффект (ФЭ) рассчитывали по следующей формуле: $ФЭ = [(M_0 - M_x) / M_0] * 100\%$, где M_0 – масса растения контрольного варианта; M_x – масса растения, выращенного на предположительно на фитотоксичной среде (в расчетах использовали массу надземной части и корней проростков тест-культур отдельно).

Вынос элемента проростками рассчитывали по произведению концентрации кадмия в проростках и его сухой биомассе.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты исследования пыли указывают на среднее содержание кадмия в ней. Валовое содержание данного элемента составляет 0,5 мг/кг, что в 3,85 раза превышает его Кларк в литосфере (0,13 мг/кг) и не превышает Кларк (0,5 мг/кг) и ПДК в почве (3,0 мг/кг), а также ПДК Cd, используемые в Казахстане (0,5 мг/кг).

В исследуемой пыли содержание мобильных форм кадмия оказалось невысоким и не превысило установленные нормы. Так, концентрация водорастворимой формы составила 0,011 мг/кг, обменной – 0,09 мг/кг и кислоторастворимой – 0,19 мг/кг (превышение ПДК для данной формы нет).

В исследуемых пылевых выбросах водорастворимая форма составила 2,1%, обменная – 18,0% и кислоторастворимая – 37,8% от валового содержания кадмия в ней.

Таблица 1

Валовое содержание и формы соединений кадмия в почве, искусственно загрязненной пылью цементного производства, мг/кг

| Доза пыли, % | Валовое содержание | Формы соединений | | |
|--------------|--------------------|------------------|--------------|---------------------|
| | | водорастворимая | обменная | кислото-растворимая |
| 0 | 0,73 ± 0,01 | 0,01 (1,5) | 0,06 (8,0) | 0,09 (12,1) |
| 0,1 | 0,73 ± 0,001 | 0,01 (1,4) | 0,065 (8,9) | 0,1 (13,7) |
| 0,5 | 0,731 ± 0,001 | 0,014 (1,9) | 0,07 (9,6) | 0,12 (16,4) |
| 1,0 | 0,734 ± 0,006 | 0,02 (2,7) | 0,085 (11,6) | 0,18 (24,3) |
| 5,0 | 0,736 ± 0,009 | 0,03 (4,1) | 0,1 (13,3) | 0,21 (28,0) |
| 10,0 | 0,75 ± 0,012 | 0,04 (4,9) | 0,11 (14,5) | 0,3 (39,5) |
| 15,0 | 0,79 ± 2,5 | 0,04 (4,9) | 0,12 (15,1) | 0,32 (40,5) |

Примечание: данные в скобках – процент от валового содержания.

Валовое содержание кадмия в исходной почве составило 0,73 мг/кг, что в 1,46 раза выше его ПДК в почве, установленных в Казахстане, в 5,6 раза выше Кларка в литосфере (0,13 мг/кг) и в 4,1 раза меньше ПДК по Клоке (3,0 мг/кг). Для форм соединений кадмия в исходной почве характерен следующий убывающий ряд: кислоторастворимая (0,09 мг/кг) > обменная (0,06 мг/кг) > водорастворимая (0,01 мг/кг).

С увеличением дозы загрязнения валовое содержание кадмия в почве не изменялось, но увеличивалось его содержание в подвижных формах. При внесении от 0,1 до 15,0% пыли концентрация кадмия в почве превысила ПДК Cd, используемые в Казахстане в 1,46 – 1,58 раза. Содержание водорастворимой формы возросло в 4 раза, обменной формы – в 2 раза

и кислоторастворимой формы – в 3,5 раза от концентрации указанных форм в фоновой почве (таблица 1). При этом содержание изученных форм кадмия увеличивалось от водорастворимой к кислоторастворимой форме. Концентрация кислоторастворимой формы кадмия в загрязненной почве не превысило ПДК (1,0 мг/кг) [8].

С помощью коэффициентов опасности (K_o) и концентрации (K_c) можно оценить количество накопленного кадмия в почве при внесении соответствующей дозы пыли, по сравнению с его фоновым содержанием и ПДК. В пределах указанных доз пыли коэффициент опасности возрастает незначительно 0,243-0,263, с учетом ПДК_{сд} в почве по А. Клоке, и 1,46-1,58, с учетом ПДК_{ср} установленных в Казахстане; коэффициент концентрации кадмия также находится на одном уровне с увеличением дозы внесенной пыли в почву (1,00-1,08), что свидетельствует об относительно невысокой степени загрязнения почв пылевыми выбросами (таблица 2).

Таблица 2

Коэффициент опасности (K_o) и концентрации (K_c) кадмия при внесении соответствующих доз цементной пыли

| Доза пыли в почве, % | K_o | K_c |
|----------------------|--------------|-------------|
| Контроль | 0,243 | 1,00 |
| | 1,46 | |
| 0,1 | 0,243 | 1,00 |
| | 1,46 | |
| 0,5 | 0,244 | 1,00 |
| | 1,462 | |
| 1,0 | 0,245 | 1,00 |
| | 1,468 | |
| 5,0 | 0,245 | 1,00 |
| | 1,472 | |
| 10,0 | 0,25 | 1,03 |
| | 1,5 | |
| 15,0 | 0,263 | 1,08 |
| | 1,58 | |

Примечание: K_o в числителе с учетом ПДК_{сд} в почве по А. Клоке, в знаменателе – с учетом ПДК_{сд}, установленных в Казахстане.

Для всесторонней оценки влияния загрязнения почвы на прорастание семян учитывали ряд принятых в семеноводстве показателей: всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания (таблицы 3,4,5). Как показали результаты исследования пыль цементного производства негативно влияла на прорастание и общее состояние всех исследуемых тест-культур. Так, например, с увеличением вносимой дозы пыли до 10,0% от общего количества почвы, всхожесть и энергия прорастания проростков *Sekale sereale L.* уменьшилась на 16,7-54,2% и 16,7-45,8%, *Brassica juncea L.*

– на 5,0-55,0% и *Pisum sativum* L. – на 7,14-57,1% и 19,7-57,1%. Показатели дружности и скорости прорастания всех исследуемых тест-культур снизились на 33,3-54,2% и 14,8-51,6%, 37,0-70,0% и 6,2-55,3%, 30,1-57,0 и 5,3-62,2% соответственно. Не менее информативными показателями общего состояния являются и длина надземной части и корней, а также биомасса проростков. С увеличением дозы пыли биомасса и длина надземной части и корней всех исследуемых тест-культур линейно уменьшались. Рост и развитие проростков в контрольном варианте происходило без признаков угнетения, биомасса проростков *Sekale sereale* L. составила 9,8, *Brassica juncea* L. – 16,1 и *Pisum sativum* L. – 13,72 г/сосуд. С увеличением дозы вносимой пыли до 10,0% наблюдали затруднение роста проростков всех тест-культур. Так, длина надземной части и корней проростков всех исследуемых культур планомерно снижались на 5,88-50,0% и 9,0-52,0% и только при дозе 0,1% пыли длина корня увеличилась на 10,0% от контроля (*Sekale sereale* L.), на 7,32-53,7% и 15,5-56,4 (*Brassica juncea* L.) и на 2,9-41,2% и 4,4-64,4% (*Pisum sativum* L.) по отношению к контрольному варианту. Аналогично снижалась и биомасса исследуемых тест-культур. При внесении 15,0% пыли в почву всхожести всех тест-культур не происходило.

Таблица 3

Влияние пылевого загрязнения на показатели прорастания и интенсивности начального роста проростков *Sekale sereale* L. в зависимости от внесенной дозы пыли в почву

| Доза пыли, % | Всхо- жесть, % | Друж- ность | Энергия прорас- тания, % | Ско- рость прорас- тания | Биомасса, г/сосуд | | Длина, см | |
|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------|-----------------|-------|
| | | | | | Надзем часть | Корни | Надзем часть | Корни |
| Контр. | 100 | 6,0 | 87,5 | 18,75 | 9,8 | 6,5 | 17,0 | 10,0 |
| 0,1 | 83,3 | 4,0 | 70,8 | 15,98 | 8,0 | 5,8 | 16,0 | 11,0 |
| 0,5 | 83,3 | 6,7 | 83,3 | 17,2 | 8,2 | 5,1 | 15,5 | 9,1 |
| 1,0 | 75,0 | 4,5 | 70,8 | 14,95 | 7,6 | 4,5 | 13,3 | 8,0 |
| 5,0 | 58,3 | 3,5 | 54,2 | 11,58 | 5,5 | 3,2 | 10,0 | 6,0 |
| 10,0 | 45,8 | 2,75 | 41,7 | 9,08 | 4,0 | 2,6 | 8,5 | 4,8 |
| 15,0 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Примечание: «-» - гибель растения.

Таблица 4

Влияние пылевого загрязнения на показатели прорастания и интенсивности начального роста проростков *Brassica juncea* L. в зависимости от внесенной дозы пыли в почву

| Доза пыли, % | Всхо- | Дружность | Энергия прорастания, % | Скорость прорастания | Биомасса, г/сосуд | | Длина, см | |
|--------------|-------|-----------|------------------------|----------------------|-------------------|-------|--------------|-------|
| | | | | | Надзем часть | Корни | Надзем часть | Корни |
| Контр. | 100,0 | 10,0 | 100,0 | 19,0 | 16,1 | 2,0 | 20,5 | 11,0 |
| 0,1 | 95,0 | 6,3 | 95,0 | 17,83 | 15,0 | 1,7 | 19,0 | 9,3 |
| 0,5 | 90,0 | 4,5 | 85,0 | 15,05 | 13,5 | 1,6 | 17,5 | 9,0 |
| 1,0 | 85,0 | 4,25 | 80,0 | 14,55 | 13,0 | 1,6 | 16,0 | 8,0 |
| 5,0 | 65,0 | 4,3 | 65,0 | 11,3 | 8,0 | 1,2 | 12,0 | 5,5 |
| 10,0 | 45,0 | 3,0 | 45,0 | 8,5 | 5,3 | 0,8 | 9,5 | 4,8 |
| 15,0 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Примечание: «-» - гибель растения.

Таблица 5

Влияние пылевого загрязнения на показатели прорастания и интенсивности начального роста проростков *Pisum sativum* L. в зависимости от внесенной дозы пыли в почву

| Доза пыли, % | Всхо- жсть, % | Друж- ность | Энергия прорас- тания, % | Скорость прорас- тания | Биомасса, г/сосуд | | Длина, см | |
|--------------|---------------|-------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------|--------------|-------|
| | | | | | Надзем часть | Корни | Надзем часть | Корни |
| Контр. | 100 | 9,3 | 100 | 23,8 | 13,72 | 23,52 | 17,0 | 9,0 |
| 0,1 | 92,86 | 6,5 | 89,3 | 22,55 | 12,2 | 18,4 | 16,5 | 8,6 |
| 0,5 | 82,1 | 5,75 | 78,6 | 21,05 | 11,4 | 15,8 | 15,5 | 8,1 |
| 1,0 | 71,4 | 6,7 | 71,4 | 17,0 | 7,0 | 12,0 | 14,0 | 7,0 |
| 5,0 | 57,1 | 5,3 | 57,1 | 12,3 | 4,48 | 7,68 | 12,0 | 5,0 |
| 10,0 | 42,9 | 4,0 | 42,9 | 9,0 | 2,52 | 4,32 | 10,0 | 3,2 |
| 15,0 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Примечание: «-» - гибель растения.

Фитотоксический эффект (ФЭ) может быть рассчитан по разным показателям. ФЭ достигался при снижении биомассы проростков *Sekale cereale* L. на 18,4% (при дозе 0,1% пыли), на 16,32% (при 0,5% пыли), на 22,44% (при 1,0% пыли), на 43,9% (при 5,0% пыли) и на 59,2% (при 10,0% пыли); для *Brassica juncea* L. – на 6,8% (при 0,1% пыли), на 16,15% (при 0,5% пыли), на 19,3% (при 1,0% пыли), на 50,3% (при 5,0% пыли) и на 67,1% (при 10,0% пыли); для *Pisum sativum* L. на 11,1% (при 0,1% пыли), на 16,9% (при 0,5% пыли), на 49,0% (при 1,0% пыли), на 67,3% (при 5,0% пыли) и на 81,6% (при 10,0% пыли), что свидетельствует о высокой степени проявления ФЭ на тест-культуре.

Кадмий способен сравнительно легко поступать из почвы через корневую систему, а также из атмосферы через листья. Растения обладают разной способностью аккумулировать его в товарной (съедобной части) [9]. Основной причиной токсичности кадмия для растений считается нарушение активности ферментов, торможение процессов фотосинтеза, нарушение транспирации и фиксации CO_2 [10].

Как показали результаты наших исследований, отобразенные в таблице 6, корневая система проростков ржи и горчицы листовой менее интенсивно накапливала кадмий, чем их надземная часть (в 1,1-1,5 и 1,5-2,3 раза соответственно), а в горохе посевном аккумуляция данного элемента в большей степени приходилась на корневую систему, чем на надземную часть проростков (1,4-6,0 раза). С увеличением дозы пыли в почву аккумуляция кадмия надземной частью и корневой системой проростков *Sekale sereale L.* увеличилась в 1,5-11,5 и в 1,4-14,4 раза, *Brassica juncea L.* – в 1,6-19,0 и 1,7-27,3 раза и *Pisum sativum L.* – в 1,4-78,6 и 1,5-23,3 раза по отношению к контрольному варианту.

Таблица 6

Содержание кадмия в проростках тест-культур, мг/кг

| Доза пыли, % | Яровая рожь | Горчица листовая | Горох посевной |
|--------------|-------------|------------------|----------------|
| 0 | 1,0 | 0,7 | 0,07 |
| | 0,7 | 0,3 | 0,4 |
| 0,1 | 1,5 | 1,1 | 0,1 |
| | 1,0 | 0,5 | 0,6 |
| 0,5 | 4,1 | 1,7 | 0,7 |
| | 3,5 | 1,0 | 1,0 |
| 1,0 | 6,4 | 5,8 | 2,3 |
| | 5,8 | 3,9 | 4,8 |
| 5,0 | 10,0 | 11,5 | 3,3 |
| | 8,0 | 7,2 | 6,5 |
| 10,0 | 11,5 | 13,3 | 5,5 |
| | 10,1 | 8,2 | 9,3 |

Примечание: в числителе – содержание кадмия в надземной части, в знаменателе – в корне.

Для характеристики биоаккумуляционной способности тест-культур по отношению к ионам кадмия были рассчитаны значения КБП (таблица 7). Согласно классификации рядов КБП, разработанной А. И. Перельманом [11], в надземной части проростков *Sekale sereale L.* при дозах 0,1-1,0% пыли кадмий относится к элементам слабого поглощения и среднего захвата, а при 5,0 и 10,0% пыли – к интенсивно накапливаемым элементам, в *Brassica juncea L.* при дозах 0,1 и 0,5% пыли – к элементам слабого поглощения и среднего захвата, а при 1,0-10,0% пыли – к интенсивно накапливаемым элементам, в *Pisum sativum L.* во всех дозах – к элементам слабого поглощения и среднего захвата.

Таблица 7

Коэффициент биологического поглощения кадмия (КБП) тест-культурами, в зависимости от внесенной дозы пыли

| Доза пыли, % | Яровая рожь | Горчица листовая | Горох посевной |
|--------------|-------------|------------------|----------------|
| контроль | 0,12 | 0,04 | 0,07 |
| | 0,16 | 0,1 | 0,4 |
| 0,1 | 0,16 | 0,05 | 0,1 |
| | 0,21 | 0,15 | 0,02 |
| 0,5 | 0,41 | 0,07 | 0,16 |
| | 0,57 | 0,26 | 0,11 |
| 1,0 | 0,71 | 0,28 | 0,7 |
| | 0,88 | 1,03 | 0,32 |
| 5,0 | 0,79 | 0,53 | 0,84 |
| | 1,63 | 2,1 | 0,41 |
| 10,0 | 1,2 | 1,03 | 1,11 |
| | 1,53 | 2,04 | 0,63 |
| 15,0 | - | - | - |

Примечание: в числителе – КБП кадмия в надземной части, в знаменателе – в корне.

Объективным критерием оценки количества металла, перешедшего из почвы в растение, служит коэффициент накопления (Кн) [12]. Величины K_n в опыте зависели от уровня загрязнения (таблицы 8, 9, 10). По величине K_n , рассчитанного для форм соединений, максимальное извлечение приходится на водорастворимую форму, далее уменьшается к обменной и наименьшее его величина приходится на кислоторастворимую форму кадмия для всех тест-культур. В указанных дозах в водорастворимой форме кадмия значения Кн в надземной части проростков *Sekale sereale L.* на 33,3-12,2% выше, чем в корне и в 287,5 раза больше, чем в контрольном варианте. В проростках *Brassica juncea L.* Кн в надземной части на 54,5-38,3% выше, чем в корне и в 1,6-4,75 раза больше, чем в надземной части в контроле. В проростках *Pisum sativum L.* Кн кадмия в водорастворимой форме кадмия в корне на 83,3% (0,1% пыли), на 29,6% (0,5% пыли), на 52,1% (1,0% пыли), на 49,2% (5,0% пыли) и на 41,0% (10,0% пыли) выше, чем в надземной части и в 1,4 (0,1% пыли), в 16,4 (1,0% пыли), в 15,7 (5,0% пыли) и в 19,6 (10,0% пыли) раза выше, а при 0,5% пыли – в 1,4 раза меньше, чем в надземной части контрольного варианта.

Таблица 8

Коэффициент накопления кадмия (Кн) проростками *Sekale sereale L.*, в зависимости от внесенной дозы пыли

| Подвижные формы кадмия в почве | Дозы внесенной пыли в почву, % | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | 0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 10,0 |

| | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| водорастворимая | 70 | 100 | 25,0 | 290 | 266,7 | 252,5 |
| | 100 | 150 | 29,3 | 320 | 333,3 | 287,5 |
| обменная | 11,7 | 15,4 | 50,0 | 68,2 | 80 | 91,8 |
| | 16,7 | 23,1 | 58,6 | 75,3 | 100 | 104,5 |
| кислоторастворимая | 7,8 | 10,0 | 29,2 | 32,2 | 38,1 | 33,7 |
| | 11,1 | 15,0 | 34,2 | 35,6 | 47,6 | 38,3 |

Примечание: в числителе – K_n кадмия в корне, в знаменателе – в надземной части.

Таблица 9

Коэффициент накопления кадмия проростками *Brassica juncea* L., в зависимости от внесённой дозы пыли

| Подвижные формы кадмия в почве | Дозы внесённой пыли в почву, % | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 10,0 |
| водорастворимая | 30,0 | 50 | 7,1 | 195,0 | 240,0 | 205,0 |
| | 70,0 | 110 | 12,1 | 290,0 | 383,3 | 332,5 |
| обменная | 5,0 | 7,7 | 14,3 | 45,9 | 72,0 | 74,5 |
| | 11,7 | 16,9 | 24,3 | 68,2 | 115,0 | 120,9 |
| кислоторастворимая | 3,3 | 5,0 | 8,3 | 21,7 | 34,3 | 27,3 |
| | 7,8 | 11,0 | 14,2 | 32,2 | 54,8 | 44,3 |

Примечание: в числителе – K_n кадмия в корне, в знаменателе – в надземной части.

Таблица 10

Коэффициент накопления кадмия проростками *Pisum sativum* L., в зависимости от внесённой дозы пыли

| Подвижные формы кадмия в почве | Дозы внесённой пыли в почву, % | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 10,0 |
| водорастворимая | 40,0 | 60,0 | 7,1 | 240,0 | 216,7 | 232,5 |
| | 7,0 | 10,0 | 5,0 | 115,0 | 110,0 | 137,5 |
| обменная | 6,7 | 9,2 | 14,3 | 56,5 | 65,0 | 84,5 |
| | 1,2 | 1,5 | 10,0 | 27,1 | 33,0 | 50,0 |
| кислоторастворимая | 4,4 | 6,0 | 8,3 | 26,7 | 31,0 | 31,0 |
| | 0,8 | 1,0 | 5,8 | 12,8 | 15,7 | 18,3 |

Примечание: в числителе – K_n кадмия в корне, в знаменателе – в надземной части.

Вынос химических элементов изучаемыми тест-культурами объективно отражает способность данного металла к биологической трансформации. Вынос кадмия надземной частью проростков *Sekale sereale* L. составил 0,012 мг/сосуд (0,1% пыли) 0,034 мг/сосуд (0,5% пыли), 0,048 мг/сосуд (1,0% пыли), 0,055 мг/сосуд (5,0% пыли) и 0,046 мг/сосуд (10,0% пыли), что в 1,2; 3,4; 4,8; 5,5 и 4,6 раза выше контрольного варианта (0,01 мг/сосуд). Надземной частью

проростков *Brassica juncea L.* при внесении 0,1% пыли в почву составил 0,017 мг/сосуд, при 0,5% - 0,023 мг/сосуд и при 1,0% - 0,075 мг/сосуд, при 5,0% - 0,092 мг/сосуд и при 10,0% - 0,07 мг/сосуд, что в 1,5; 2,1; 6,8; 8,4 и 6,4 раза больше по сравнению с контрольным вариантом (0,011 мг/сосуд). При внесении 0,1% пыли вынос кадмия проростками *Pisum sativum L.* из искусственно загрязненной почвы составил 0,0012 мг/сосуд, при 0,5% пыли - 0,008 мг/сосуд, при 1,0% пыли - 0,02 мг/сосуд, при 5,0% пыли - 0,015 мг/сосуд и при 10,0% пыли - 0,014 мг/сосуд, что в 1,2; 8,0; 20,0; 15,0 и 14,0 раз выше по сравнению с контрольным вариантом (0,001 мг/сосуд).

Переход кадмия из подземных органов в надземную части определяется типом корневой системы. Изучаемые нами тест-культуры имеют стержневой корень с многочисленными боковыми корнями, физиологические барьеры в системе корни - надземная часть по отношению к кадмию слабо функционируют.

Вывод

1. При внесении цементной пыли валовое содержание кадмия в почве не изменялось, а в проростках *Sekale sereale L.*, *Brassica juncea L.* и *Pisum sativum L.* возрастало в сухой биомассе надземной части в 11,5; 19,0 и 78,6 раза соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

2. Согласно значениям K_c и K_o содержание кадмия в почве свидетельствует о невысокой степени опасности загрязнения почв пылевыми выбросами.

3. Стимуляция прорастания и начального роста проростков изучаемых тест-культур с увеличением дозы пыли в почве уменьшалась вдвое. При внесении 15,0% пыли всхожести проростков всех изучаемых тест-культур не наблюдали.

4. Накопление кадмия проростками *Sekale sereale L.* и *Brassica juncea L.* носит акропетальный, а проростками *Pisum sativum L.* - базипитальный характер.

5. Фитотоксический эффект достигался при внесении 0,1% и выше пыли в почву (*Sekale sereale L.*) и при 0,5% пыли (*Brassica juncea L.* и *Pisum sativum L.*), когда биомасса снижалась от 10% и выше по сравнению с контрольным опытом.

6. Вынос кадмия из искусственно загрязненной почвы надземной частью проростков всех изучаемых тест-культур происходил почти на одном уровне, поэтому однозначно нельзя утверждать о преимуществах использования для фиторемедиации или других исследовательских целях какой-либо культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. Москва: «Наука», 1968г. - С. 266.

2. Ильин В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 1995. - № 1. - С. 94 - 99.

3. Линдиман А.В. с соавт. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы. ЭКИП, 2008, № 9. – С. 45-47.

4. Nanda Kumar P.B.A., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. Phytoremediation: the use of plants to remove heavy metals from soils // Environ. Sci. Technol. 1995. V.29. №5. P. 1232-1238.

5. Begonia G.B., Davis C.D., Begonia M.F.T., Gray C.N. Growth responses of Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern.] and its phytoremediation of lead from a contaminated soil // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1998. V. 61. P. 38-43.

6. Галиулина Р.А., Галиулин Р.В., Возняк В.М. Извлечение растениями тяжелых металлов из почвы и водной среды // Агрехимия, 2003. №12. - С. 60-65.

7. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига, 1972. – С.

8. Ильин В.Б. Агрехимия, 2000, №9. – С. 74-79.

9. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. Накопление кадмия и свинца некоторыми сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Изв. ТСХА. – 1995. – Вып. 2. – С. 85-98.

10. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2001. – С. 16-17.

11. Перельман А.И. Геохимия. – М.: ВШ, 1979. – С. 423.

12. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. - М. 1996. – С. 201.

Түйіндемe

Цемент зауытының шаңды тастандыларының қою-каштан топырақта модельді тәжірибе жағдайларында қарабидай, екпелі үрмебұршақ және жапырақты қышаның өсімділеріне әсері зерттелді. Кадмий бар шаңның екеуі оның қарабидай мен қыша өсімділерінің тымарларына қарағанда жербеті бөлігінді қарқынды жиналуына және аз мөлшерде үрмебұршақ өсімділерінің жербеті мүшелерінде жиналуына әкелді. Өсімділерде кадмий концентрацияларының оның жалпы мөлшері мен топырақта қозғалмалы формаларының концентрациясына тәуелділігі орнатылды.

Resume

The effect of dust emissions at cement plant seedlings of rye, mustard leaf and pea in a model experiment in the dark - chestnut soil. The introduction of dust containing cadmium, leading to more intense accumulation in aerial parts than in roots of seedlings of rye and mustard and to a lesser extent in the aboveground organs of pea seedlings. The dependence of the cadmium concentration in seedlings of its total contents and concentration of mobile forms in soil.