**Моделирование загрязнения чернозема свинцом с целью установления экологически безопасной концентрации**

### Введение

На каждый квадратный метр суши в течение года атмотехногенным путем в среднем выпадает 5.6—9.5 мг свинца [16]. Однако главная опасность для городских ландшафтов заключается не только и не столько в больших концентрациях поступления свинца в почвы. За тот же период к уже имеющимся запасам, например, марганца, прибавляется почти в 2 раза больше, чем свинца. Тем не менее, экологическая опасность наличия свинца в почвах в 43 раза больше, чем того же марганца.

Такое, на первый взгляд парадоксальное, свойство свинца связано с его крайне низким исходным содержанием в почвах — 10 мг/кг (среднее содержание марганца в почвах в 85 раз больше и составляет 850 мг/кг). В целом химические элементы с низкими природными концентрациями в почвах (ртуть—0,01 мг/кг, селен— 0,06 мг/кг, кадмий—0,5 мг/кг, мышьяк—5 мг/кг и др.), но широко вовлекаемые в современный техногенный круговорот, являются наиболее экологически опасными. Соответственно, небольшими являются и требуемые техногенные поступления этих элементов, достаточные для глубокого преобразования природы урбанизированных территорий.

### Глава 1. Нормирование качества почвы

В России был установлен лишь один норматив, определяющий допустимый уровень загрязнения почвы вредными химическими веществами — ПДК для пахотного слоя почвы. Принцип нормирования содержания химических соединений в почве основан на том, что поступление их в организм происходит преимущественно через контактирующие с почвой среды. Основные понятия, касающиеся химического загрязнения почв, определены ГОСТом 17.4.1.03-84. Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения.

**Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы** (ПДКп) — это концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

Нормативы ПДКп разработаны для веществ, которые могут мигрировать в атмосферный воздух или грунтовые воды, снижать урожайность или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время в Институте экологии человека проводятся исследования, направленные на обоснование индивидуальных нормативов ПДКп для различных типов почв. Таким образом, в ближайшее время следует ожидать того, что особенности миграции и трансформации вредных веществ в почвах будут отражены в системе нормирования.

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются коэффициент концентрации химического элемента Кс и суммарный показатель загрязнения Zc.

Коэффициент концентрации определяется как отношение реального содержания элемента в почве С к фоновому Сф:

Кс=С/Сф.

Поскольку часто почвы загрязнены сразу

несколькими элементами, то для них рассчитывают суммарный показатель загрязнения, отражающий эффект воздействия группы элементов.

Суммарный показатель загрязнения может быть определен как для всех элементов в одной пробе, так и для участка территории по геохимической выборке.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю Zc проводится по оценочной шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

Таблица 1

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kатегории загрязнения почв** | **Величина Zс** | **Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения** |
| Допустимая | меньше 16 | Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений |
| Умеренно опасная | 16-32 | Увеличение общего уровня заболеваемости |
| Опасная | 32-128 | Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хрони-ческими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы |
| Чрезвычайно опасная | больше 128 | Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение случаев токсикоза при беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных). |

**Глава 2. Загрязнение городских почв свинцом: источник поступления, особенности накопления, перспективы оздоровления**

На каждый квадратный метр суши в течение года атмотехногенным путем в среднем выпадает 5.6—9.5 мг свинца [16]. Однако главная опасность для городских ландшафтов заключается не только и не столько в больших концентрациях поступления свинца в почвы. За тот же период к уже имеющимся запасам, например, марганца, прибавляется почти в 2 раза больше, чем свинца. Тем не менее, экологическая опасность наличия свинца в почвах в 43 раза больше, чем того же марганца.

Такое, на первый взгляд парадоксальное, свойство свинца связано с его крайне низким исходным содержанием в почвах — 10 мг/кг (среднее содержание марганца в почвах в 85 раз больше и составляет 850 мг/кг). В целом химические элементы с низкими природными концентрациями в почвах (ртуть—0,01 мг/кг, селен— 0,06 мг/кг, кадмий—0,5 мг/кг, мышьяк—5 мг/кг и др.), но широко вовлекаемые в современный техногенный круговорот, являются наиболее экологически опасными. Соответственно, небольшими являются и требуемые техногенные поступления этих элементов, достаточные для глубокого преобразования природы урбанизированных территорий.

Поэтому неудивительно, что именно вышеназванные химические элементы являются приоритетными загрязнителями городских почв и среди них свинец занимает особое положение. Как показывает выборочный анализ в 14 городах России с высоким уровнем загрязнения, во всех случаях наблюдается достоверная техногенная концентрация свинца и во всех случаях в рядах техногенной концентрации свинец находится в первой тройке приоритетных загрязнителей.

Детерминированность урбопедотехногенных аномалий по отношению к свинцу характерна в том числе и для города Тюмени. Данные экологопедогеохимических исследований с отбором и последующим спектральным и атомно-абсорбционным анализом проб на 999 пунктах наблюдений в пределах городской черты показали, что средняя концентрация свинца в почвах города в 3,5 раза превышает фоновую. В центрах аномалий эта величина может расти до 10—15- кратных размеров.

**Основные источники поступления свинца в почвы города**

Сравнение средних общемировых концентраций (кларков) химических элементов в почвах с соответствующими региональными фоновыми показателями свидетельствует, что природные почвы региона обеднены оловом и литием, обогащены цинком и никелем. Концентрация свинца в зональных почвах соответствует общемировым нормам. Следовательно, высокие концентрации свинца в почвах в г. Тюмени связаны исключительно с его техногенными поставками.

Основными техногенными поставщиками свинца являются промышленность и транспорт.

До начала 90-х годов, до повального спада промышленного производства, вклад промышленности в загрязнения городской среды свинцом был преобладающим. По сути, настоящая проблема свинцового загрязнения почв города Тюмени была создана в течение нескольких предыдущих десятилетий совместными «усилиями» более чем 180 промышленных предприятий - потенциальных источников свинца, условно объединенных в 9 промышленных узлов. Воздействие промышленных узлов как концентрированных, мощных источников загрязнения на экосистемы города в первую очередь определяется специализацией основных производственных предприятий.

Все промышленные узлы города (за исключением промузлов Южный и Затюменский) имеют в своей структуре значительную долю (16-38%) предприятии стройиндустрии, которые создают предпосьлки для повсеместного загрязнения свинцом городских экосистем. Доля свинца, например, в выбросах цехов готового кирпича, бетонно-смесительных и керамзитовых цехов весьма значительна и превышает фоновое значение в 10-100 раз. Наибольшее число предприятий стройиндустрии (завод керамзитового гравия, заводы ЖБИ, ПО «Сантехкомплект») сосредоточено в Юго-Восточном промузле.

Большая доля (около 50%) предприятий машиностроения и металлообработки, в Затюменском (аккумуляторный, механический, электромеханический и ремонтно-механический заводы), Центральном (станкостроительный завод, завод строймашин) промышленных узлах при преобладании ветров западного и юго-западного направлений предопределяет сильное техногенное загрязнение почв свинцом в западной и центральной частях города. Этому способствуют высокие концентрации свинца (в 100 - 1000 раз выше фона) в выбросах и сточных водах предприятий машиностроения и металлообработки.

Возрастание в 90-х годах экологической роли транспорта в загрязнении свинцом городских почв связано не только с началом снижения производственного потенциала промышленности, но и с абсолютным ростом автомобильного парка, насчитывающего около 200 тыс. единиц, и, соответственно, транспортных потоков в городе. Уровень автомобилизации населения г. Тюмени в 1998 г. составил 170 легковых автомобилей на 1000 человек при предельном для крупного города показателе 180 на 1000 человек.

Экологические последствия высокого темпа автомобилизации города (прирост с 1991 по 1998 г., составил 1,5 раза, в т. ч. легкового—1,7 раза) усугубляются тем, что при острой недостаточности магистральных улиц, проходящих по селитебной зоне (1,48 км/км2 при норме 2,2—2,4 км/км2), при сообщении между районами города с коэффициентом непрямолинейности 2,0 транспортные потоки концентрируются в основном на нескольких центральных улицах города: Республики, Мельникайте, Челюскинцев, Мориса Тореза, Герцена, загружая их до состояния регулярных заторов [17]. Режим движения в заторах в несколько раз увеличивает вероятность загрязнения свинцом атмосферного воздуха, городских почв.

Специализация и территориальное размещение промышленных предприятий, современное состояние улично-дорожной сети и интенсивность транспортных потоков по ним, главным образом, определяют особенности техногенного накопления свинца в почвах города.

**Особенности техногенной концентрации свинца в почвах г. Тюмени**

Граница статистически достоверного накопления свинца в почвах, когда его концентрация в 2 — 3 раза превышает фоновые показатели, совпадает с внешними границами городской застройки. От периферии к центру города концентрации свинца в почвах постепенно увеличиваются и достигают 10 —50-кратных фоновых показателей. Около 90% свинца (как и других атмотехногенных поллютантов) накапливается в самых верхних горизонтах (0—10 см) городских почв. Книзу концентрация свинца экспоненциально снижается и уже на глубине 10—30 см выходит на фоновый уровень.

Общие запасы свинца в верхнем аккумулятивном десятисантиметровом горизонте почв г. Тюмени оцениваются (при среднем удельном весе почв, равном 1,3 г/см3) в 200—3500 т. Однако территориальное распределение этих запасов и его отражение в экспликации почв с разной степенью свинцового загрязнения диаметрально противоположны (табл. 5.36).

Таблица 2

Экспликация загрязненных свинцом городских почв

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Степень загрязнения, кратная фоновому содержанию | Площадь ореола, га | % | Запасы накопленного свинца, т | % |
| 1-2,5 (низкая) | 9266,4 | 40,8 | 200 | 4 |
| 2,6-5,0 (средняя) | 9325,8 | 41,1 | 450 | 9 |
| 5,1-10,0(высокая) | 3399,9 | 15,0 | 900 | 18 |
| 10,1-50,0 (очень высокая) | 713, | 3,1 | 3500 | 69 |

Более чем на 40% территории города почвы имеют среднюю, около 20% — высокую и очень высокую степень загрязнения свинцом. Но именно в этой одной пятой части городской территории находится 80 —90% запасов свинца в почвах.

Педогеохимическая мозаичность в накоплении свинца в почвах является результатом, в первую очередь, территориальной неоднородности атмотехногенного его поступления. Резкий подъем содержания свинца в атмотехногенных поступлениях в европейских странах и в Америке приходится на 40-е годы нашего столетия, который фиксирует, с одной стороны, начало интенсивного роста промышленного производства, с другой — использования тетраэтилсвинца в бензине. В Тюмени аналогичный рост связан с началом «нефтяной лихорадки» в 50-х годах. Значит, существенная часть запасов свинца в почвах г. Тюмени накопилась в течение последних 50 лет. За этот срок ежегодно территории города с низким уровнем загрязнения получили около 36 мг/м2, со средним, сильным и очень сильным уровнями загрязнения — соответственно 80,4; 441,2 и 8179,1 мг/м.2.

В г. Тюмени, таким образом, интенсивность свинцового загрязнения почв по сравнению с мировыми показателями в 4—800 раз больше. Она значительно превосходит количество выпадений свинца, характерных для промьшленно развитых регионов вне прямого воздействия техногенных источников — Польши, Германии, многих штатов США (18,2; 10,8 и 28,6—70 мг/м2 соответственно).

Ореолы с высокими уровнями атмотехногенного поступления в почвы свинца охватывают все предприятия Затюменского, Центрального, Южного и Юго-Восточного промышленных узлов на правобережье р. Туры и Тарманского и Северного — на левобережье.

Отростки ореолов с аномально высокими концентрациями свинца тремя лопастями вытянуты из общего центра, находящегося в Затюменском промышленном узле в северовосточном, восточном и юго-восточном направлениях (рис. 5.20). По их осям симметрии проходят Транссибирская железная дорога, несколько центральных городских автомагистралей с интенсивным движением автотранспорта (ул. Республики, Щербакова и др.), Велижанский и Тобольский тракты.

Среди педогеохимических аномалий свинца особенно выделяются почвы Затюменского промышленного узла и прилегающих к нему территорий. Здесь, в зоне непосредственного влияния аккумуляторного завода, наблюдается статистически достоверное 3—4- кратное преобладание свинца среди других тяжелых металлов, территориально ассоциированных со свинцом

Кластерный анализ на основе данных наблюдения в 200 равномерно расположенных узлах сеточной области 21 элемента (Mn, Ti, V, Ga, Be, Y, Yb, Ba, Li, Co, Cu, Zn, Ag, Pb, Sn, P, Cr, Mo.Ni, W и Ge) показал, что при доверительной вероятности 95% в выборочном коэффициенте 0,60 свинец с серебром, цинком и медью образует территориально-геохимическую ассоциацию элементов. Это свидетельствует о гетерогенности и полиэлементности педогеохимичееких аномалий свинца. Там, где свинец в городских почвах является ведущим элементом техногенных аномалий, ранжированные ряды накопления тяжелых металлов имеют следующий вид:

Затюменский промузел:

Pbl3,l>Ni3,8> >Zn2,9>W2,9>Cu2,0>Col,6;

Центральный промузел:

Pb5,5>Ni4,5> >Zli2,2>Cu2,I>Co2,0>Mol,8>Wl,8;

За исключением вольфрама и молибдена все вышеназванные элементы в створе техногенного потока в почвах обнаруживаются на расстоянии до 40 км от соответствующих промышленных узлов, далеко за пределами города, образуя вокруг него полиэлементный ореол. В нем свинец является самым значительным по уровню содержания и самым устойчивым по дальности обнаружения в почвах загрязнителем.

Высокий уровень поступления в почвы свинца отражается не только в радиусе его урбоэкологического ореола, но и в особенностях его накопления в почвах различных функциональных зон уже внутри города. Ореолы с высоким и очень высоким уровнями свинца в почвах не замыкаются пределами промышленных узлов. В сферу непосредственного воздействия источников свинцового загрязнения вовлекаются территории более чем половины селитебной зоны, значительная часть городских рекреационных лесов и парков. Подсчет средних концентраций свинца в узлах равномерной сетки в пределах каждой из перечисленных функциональных зон показывает, что под влиянием техногенного пресса ожидаемые (из-за их функциональной принадлежности) различия между ними совершенно стираются (табл. 3).

Таблица 3

Суммарные уровни загрязнения тяжелыми металлами (А) и концентрации свинца (относительно к фону) в почвах (Б) отдельных функциональных зон

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Функциональные зоны | А | Б |
| Промышленная | 1,8 | 5,6 |
| Селитебная | 21,2 | 5,8 |
| Рекреационная | 18,0 | 5,5 |

Поэтому, как и на территории промышленной зоны, в скудно озелененных микрорайонах города, селитебной зоне со значительной долей частного сектора вероятность поступления свинца в организм человека непосредственно с вдыхаемой пылью или через трофические цепи становится весьма высокой. Запасы свинца в почвах для этого больше чем достаточны, на каждого жителя в настоящее время приходится 8400 г свинца. Заметим при этом, что пределы устойчивости человека к свинцу в почвах находится у 20 мг/кг почвы. Относительно к пищевым продуктам этот предел еще ниже: от 0,05 мг/кг для молочных продуктов до 0,5 мг/кг — для овощей и фруктов.

В этих жестких условиях способность жителей г. Тюмени противостоять свинцовому давлению во многом зависит от устойчивости самих почв к загрязнению свинцом, от их способности к самоочищению, перспективы их оздоровления.

**Устойчивость городских почв к загрязнению свинцом, перспективы их оздоровления**

Регулирование содержания свинца в почвах может быть осуществлено путем применения радикальных технологии очистки, корректировкой способности почв к самоочищению, использованием методов повышения устойчивости почв к свинцовому загрязнению. Радикальные технологии очистки почвы от свинца основаны на явлениях экстракции и ионообменных реакций, промывки под высоким давлением с последующей экстракцией. Эти технологии уменьшают содержание свинца в почвах в 100—1000 раз. Стоимость обработки 1т загрязненной свинцом почвы эквивалентна 80—200 долларам США. Для очистки от свинца 10-сантиметрового слоя только сильно - и очень сильно загрязненных почв г. Тюмени в случае применения вышеназванных технологий сегодня по курсу 25 рублей за 1 доллар потребуется 11—27 млрд. руб.

Что же касается самоочищения почв, об этом имеет смысл говорить только по отношению к органическим загрязнителям или легколетучим элементам. Самоочищение почв от свинца если и может идти, то только путем растворения его соединений и последующего их удаления из почвенной толщи. Но абсолютное большинство распространенных в почвах соединений свинца труднорастворимо. Поэтому в наиболее благоприятных условиях лишь малая часть (до 1%) от ежегодно поступающего техногенного свинца выносится за пределы почвенного профиля, более чем 99% накапливается почвами. Даже при полном прекращении поступления свинца в почвы самоочищение от уже накопившихся запасов свинца в ландшафтно-климатических условиях г. Тюмени может длиться десятки, сотни тысяч лет. Природные средства удаления свинца в масштабах времени, соизмеримого с жизнью человека, таким образом, неэффективны, и фактически происходит загрязнение почв «на вечные времена». Практически свинцовое загрязнение может изжить и пережить всю земную цивилизацию.

Но при этом не следует забывать, что городские почвы как открытая система, с некоторыми допущениями, постоянно находятся в поле действия принципа Ле Шателье, который гласит: если в химическую систему, находящуюся в равновесии, добавить какое-нибудь вещество, реакция сместится таким образом, чтобы равновесие восстанавливалось в результате поглощения части добавленного вещества. В условиях города Тюмени, где уровень загрязнения достигает десятков фоновых уровней, ответная реакция почв будет иметь направленность, в основном, в сторону уменьшения активности свинца, в сторону его закрепления. В результате почвы приобретают свойство буферности, устойчивости к загрязнению свинцом.

Степень этой устойчивости определяется комплексом собственно почвенных физико-химических и ландшафтно-геохимических факторов. Наибольшую устойчивость почвам обеспечивают факторы, способствующие процессам концентрации, приводящие к уменьшению подвижности свинца, закреплению и накоплению его в умеренно подвижных и малоподвижных формах посредством сорбции, хемосорбции и хемоседиментации. Чем больше и прочнее может удерживать почва различные соединения свинца (показатель емкости), тем активнее они удаляются из почвенного раствора (показатель интенсивности) в состав соединений твердой фазы, тем лучше почвы сопротивляются повышению концентрации свинца в почвенном растворе. Наиболее значительными почвенными физико-химическими и ландшафтно-геохимическими факторами повышения показателей емкости свинца в почвах являются мощность горизонта подстилки, мощность гумусового горизонта, количество гумуса, дисперсные фракции почв, глинистые минералы (аллофаноиды, монтмориллонит), высокая емкость поглощения катионов, насыщенность поглощающего комплекса основаниями, аморфные гидроксиды железа, марганца и алюминия, нейтральная и слабощелочная среда (рН 6,5 — 8,0), нейтральные и щелочные окислительные, нейтральные и щелочные восстановительные, восстановительные сероводородные барьеры, наличие карбонатов и фосфатов.

В каждый момент времени, в каждой точке существует динамическое равновесие между показателями емкости и интенсивности свинца в почве. Для некоторых показателей равновесное состояние может быть выражено количественно.

Например, при загрязнении почвы труднорастворимыми солями свинца равновесие между твердыми и жидкими фазами почвы будет определяться произведением растворимости (ПР) этих солей: чем меньше ПР соли, тем устойчивее почва к данному соединению. Если сравнить устойчивость почв к двум распространенным солям свинца, то окажется, что она выше по отношению к фосфатам (ПР PbS = 8,2х10-48), чем сульфидам (ПР PbS = 1xl0-29).

Но для всех без исключения вышеперечисленных показателей емкости определение количественных параметров равновесного состояния не представляется возможным, особенно если оценивается пространственная картина устойчивости почвенного покрова всего города. Поэтому для определения степени устойчивости почв г. Тюмени к загрязнению свинцом в каждом из 999 пунктов наблюдений выведен интегральный показатель емкости. Этот показатель равен сумме частных значений, основанных на лабораторных данных во всех пунктах наблюдений по: кислотности почв, окислительно-восстановительному потенциалу почв и валовому содержанию фосфора в почвах. Полученные интегральные показатели емкости и составленная на их основе карта относительной устойчивости почв к техногенному давлению свинца выявляют территории города с крайне неустойчивыми, неустойчивыми, среднеустойчивыми, устойчивыми и весьма устойчивыми почвами к загрязнению

В пределах современной городской черты крайне неустойчивые и неустойчивые почвы приурочены в основном к пойменным территориям р. Туры и занимают всего около 13% рассматриваемой территории. Наибольшую тревогу, из-за опасности проникновения свинца через пищевые цепи в организм человека, вызывают крайне неустойчивые почвы садоводческих обществ, расположенных на пойме в районе оз. Турбеково и между поселками Казарово и Мелиораторов, в северной части города. В застроенной части города, особенно на правом берегу р. Туры, преобладают среднеустойчивые, устойчивые и весьма устойчивые к загрязнению свинцом почвы, занимающие 87 % территории.

Накопленные запасы свинца, даже при весьма устойчивых в современной физико-химической обстановке почвах представляют собой не что иное как «химические бомбы» замедленного действия. Изменение условий, определяющих параметры наиболее значимых показателей емкости, может сдвигать равновесное состояние в сторону уменьшения устойчивости городских почв, увеличению геохимической активности накопленного свинца.

Наиболее вероятно в этом плане увеличение кислотности почв, которому могут способствовать:

— трансграничный региональный перенос загрязняющих веществ кислотной природы;

— выбросы городских теплоэлектроцентралей, работающих на газе;

— высокие темпы роста автомобильного парка города.

Трансграничный региональный перенос кислотной природы связан с положением г. Тюмени относительно крупных промышленных центров Свердловской области (гг. Екатеринбург, Нижний Тагил, Каменск-Уральский и др.). От стационарных промышленных источников области в атмосферный воздух ежегодно поступает около 1500 тыс. т загрязняющих веществ, что составляет более 7% (2-ое место) по Российской Федерации. В составе выбросов преобладают оксиды серы и азота, приводящие к образованию серной и азотной кислот. Серная и азотная кислоты вместе с естественными источниками ионов водорода главным образом и обусловливают общую концентрацию водород-ионов, отрицательный логарифм из которой показывает значение рН осадков в каждый момент времени переноса.

Установлено, что в исходной точке и в начальный момент времени при концентрации диоксида серы и оксидов азота, равной предельно допустимым концентрациям (соответственно 50 и 20 мкг/ м3), кислотность осадков при их годовом количестве 600 мм составляет 3,5 единиц рН [18]. С ростом дальности переноса показатели рН увеличиваются. Расчеты по региональному переносу показывают, что в г. Тюмени, находящемся на расстоянии 300 — 400 км от основных промышленных источников Свердловской области, при скорости переноса, равной примерно 20 км/ ч, осадки выпаду] с показателями рН около 3,7. В реальных условиях кислотность атмосферных осадков в г. Тюмени меньше расчетных значений (рН 4,2 — 7,5) и это в немалой степени связано с повышенной и устойчивой запыленностью городского воздуха, где немалую роль, как уже отмечалось, играет недостаточная озелененность города и интенсивное автомобильное движение.

Существенными источниками оксидов серы и азота в самом городе являются теплоэлектроцентрали (соответственно 55 и 37% в структуре антропогенных выбросов), оксидов азота — автотранспорт (более 50%). Процессы закисления почв выбросами городских теплоэлектроцентралей при прочих равных условиях наиболее вероятны в восточной и юго-восточной частях города, в зоне атмогеохимического воздействия ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Как показывают результаты исследования снегового покрова, здесь на каждый квадратный километр поверхности почвы только в холодный период года выпадает 200—500.

Воздействие автотранспорта через улично-дорожную сеть распространяется, в отличие от теплоэлектроцентралей, на весь город и, что особенно опасно, в наибольшей степени на селитебную зону. В городских магистралях Тюмени с интенсивным движением транспорта за 12 часов количество выбросов N0, составляет по расчетным данным в среднем около 65 кг на 1 км.

Если учесть, что протяженность магистральных улиц, проходящих по селитебной зоне, составляет 86 км, то только в селитебной зоне за сутки почвы получают около 6 т оксидов азота (предполагается, что подавляющая часть выбросов происходит в течение 12-часового интервала суток), за год — более 2000 т.

По мере выделения оксиды азота, главным образом с помощью газофазных реакций, в течение примерно 10 часов превращаются в азотную кислоту. Далее эквивалентная доля азотной кислоты нейтрализуется присутствующим всегда в атмосфере города аммиаком. Оставшаяся часть кислот посредством вымывания дождем, туманом или снегом, а также и сухого поглощения поступает на поверхность почвы.

В почве кислоты последовательно нейтрализуются на пяти эшелонированных буферных зонах (карбонатной 6,2 < рН < 8,6; силикатной 5,0 < рН < 6,2; катионо-обменной 4,2 < рН < 5,0; алюминиевой 3,0 < рН < 4,2 и железной 2,5 < рН < 3,0). Сдвиг из одной буферной зоны с более высокими значениями рН в другую, с более низкими значениями водородного показателя, в результате дополнительного поступления в почву кислот не только ухудшает комплекс физико-химических свойств почв, но и резко увеличивает скорость возможного выхода в раствор различных соединений свинца.

Анализ полей концентрации водород-ионов в почвах показывает, что в настоящее время в г. Тюмени непосредственной угрозы приведения в действие «химической бомбы замедленного действия», несмотря на интенсивное поступление кислотообразующих ингредиентов, нет. Судя по показателям рН городских почв (6,0—8,2), карбонатная буферная зона все еще имеет достаточную емкость для противостояния свинцовому давлению.

Известкование почв, внесение фосфорных удобрений, особенно в частном секторе городской застройки и садовых участках, расположенных в городской черте, как меры, наиболее доступные в современной социально-экономической ситуации, могут способствовать сохранению сложившегося квазиздорового состояния городских почв. Наиболее перспективным в этом плане, конечно же, является решение проблем свинцового загрязнения, непосредственно связанных с автотранспортом.

почва свинец безопасный концентрация

**Глава 3. Моделирование загрязнения чернозема свинцом с целью установления экологически безопасной концентрации**

Проблема нормирования загрязнения почв различными химическими веществами была и остается одной из наиболее сложных задач современной прикладной науки.

Был использован чернозем обыкновенный южно-европейской фации. Отбор почвы для модельных опытов производили на территории опытно-полевого хозяйства ДонГАУ (пос. Персиановский Ростовской обл.) из пахотного горизонта.

Свинец вносили в разных дозах - 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 и 10 ПДК (25, 50, 100, 250, 500 и 1000 мг/кг соответственно). Использовали значение ПДК, разработанное в Германии, — 100 мг/кг почвы, в связи с тем, что российская ПДК свинца меньше его содержания во многих почвах [3].

Свинец вносили в почву в виде оксида РЬО. На 70 - 90% загрязнение почвы тяжелыми металлами (ТМ) происходит в виде оксидов.

Так как оксид свинца не растворим в воде, то для равномерного распределения во всем объеме почвы вегетационного сосуда его сначала растирали с небольшим количеством почвы, а затем тщательно смешивали с остальной почвой.

Инкубирование почвы массой 1 кг проводили в стеклянных вегетационных сосудах при температуре 20 — 22°С и влажности 60% наименьшей полевой влагоемкости. Модельные опыты проведены в трехкратной повторности.

Состояние почвы определяли через 30 сут. после загрязнения. Этот срок является наиболее информативным при исследовании влияния химического загрязнения на биологические свойства почвы.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием общепринятых в экологии, биологии и почвоведении методов. Использовали биологические показатели как наиболее чувствительные и информативные [2, 6]. Численность аммонифицирующих бактерий и микроскопических грибов учитывали методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды (мясо-пептонный агар икислую среду Чапека). Численность бактерий рода Azotobacter учитывали методом комочков обрастания на среде Эшби. Активность каталазы измеряли по методике Галстяна, инвертазы — по методу Галстяна в модификации Хазиева. Целлюлозолитическую способность определяли по степени разложения хлопчатобумажного полотна, экспонированного в почве в течение 10 дней. С помощью экспресс-метода Аристовской и Чугуновой измеряли скорость разложения в почве мочевины. Фитотоксичность оценивали по показателям прорастания семян озимой пшеницы (всхожесть, энергия, дружность и скорость прорастания) и интенсивности начального роста проростков (длина корней, длина зеленых проростков).

Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС) определяли на основе наиболее информативных показателей ее биологической активности [4]: численность аммонифицирующих бактерий, микроскопических грибов, бактерий рода Azotobacter, активность каталазы, инвертазы, целлюлозолитическая активность.

Для расчета ИПБС значение каждого из шести указанных показателей в незагрязненной почве — контроле — принимали за 100 % и по отношению к нему выражали в процентах значения в остальных вариантах опыта (в загрязненной почве). Затем определяли среднее значение шести выбранных показателей для каждого варианта опыта. Использованная методика позволяет интегрировать относительные значения разных показателей, абсолютные значения которых не могут быть суммированы, так как имеют разные единицы измерения.

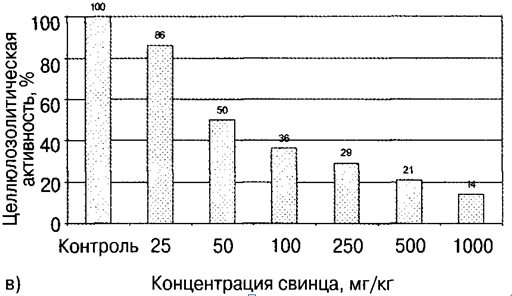
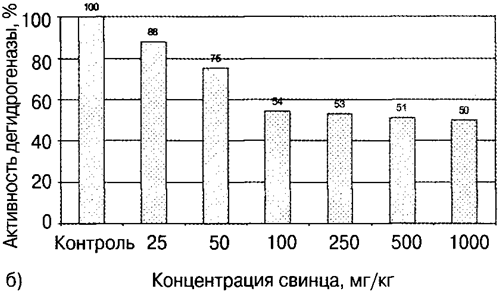


Рис.2 (а, б, в)

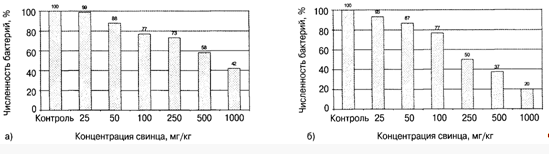


Рис. 3 (а, б)

Выбор биологических показателей обусловлен следующими причинами. Численность аммонифицирующих бактерий и микроскопических грибов характеризует состояние редуцентов в экосистеме. Бактерии рода Azotobacter традиционно используют как индикатор химического загрязнения почвы. Активность каталазы и инвертазы, целлюлозолитическая активность отражают интенсивность биологических процессов в почве. Каталаза характеризует протекание окислительно-восстановительных процессов, инвертаза — гидролитических. При этом активность ферментов каталазы и инвертазы служит показателем потенциальной биологической активности почвы, а скорость разложения полотна характеризует актуальную активность. Представленный набор показателей дает объективную информацию о протекающих в почве биологических процессах и ее состоянии.

Зафиксировано негативное воздействие свинца на общую численность бактерий в черноземе, определяемую люминесцентным методом (рис. 3, а). Этот метод имеет преимущества перед чашечным, так как обеспечивает более полное выявление бактерий в почве. Однако его недостатком является тот факт, что нельзя дифференцировать активные и покоящиеся формы бактерий. Существенное влияние на численность бактерий рода Azotobacter также оказывает концентрация загрязняющего вещества в почве (рис. 3, б). Так, загрязнение почвы 0,25 ПДК свинца вызвало снижение численности Azotobacter до 92 % контроля, 10 ПДК - до 20 %. С увеличением концентрации свинца сильнее проявляется его токсический эффект, нарушается метаболизм микроорганизмов, замедляются их рост и размножение.

Активность почвенных ферментов сильно зависела от содержания металла в почве. При внесении в почву 0,25 ПДК свинца активность каталазы снижалась до 99 % контроля, (Рис.2 а), дегидрогеназы — до 88 % (Рис. 2 б). При внесении дозы 10 ПДК активность каталазы падала до 74 %, дегидрогеназы — до 50 %. Уменьшение активности исследованных окислительно-восстановительных ферментов объясняется ингибирующим воздействием свинца.

Чувствительным показателем проявила себя целлюлозолитическая активность почвы (рис. 2, в). Загрязнение чернозема свинцом привело к значительному снижению его клетчаткоразрушающей способности.

В качестве тест-объекта для определения фитотоксичности почвы был использован редис (сорт Корунд). Семена редиса содержат небольшой запас питательных веществ и соответственно более подвержены влиянию внешней среды, например избыточной концентрации свинца. Для всесторонней оценки степени токсичности почвы определяли показатели их прорастания и начального роста.

Показатели прорастания — всхожесть (рис. 3, а), энергия, скорость и дружность прорастания снижались в меньшей степени, показатели интенсивности начального роста — длина корней (рис. 3, б) и длина побегов (рис. 3, в) — в большей.

Загрязнение свинцом не оказало достоверного воздействия на содержание в почве гумуса. Этот показатель является более консервативным по сравнению с биологическими показателями.

С целью выявления общих закономерностей воздействия свинца на чернозем обыкновенный определяли ИПБС почвы. Его рассчитывали по следующим показателям: общая численность бактерий, обилие бактерий рода Azotobacter, активность каталазы, активность дегидрогеназы, целлюлозолитическая активность (рис. 4, б).

Полученные данные свидетельствуют о негативном воздействии свинца на свойства чернозема обыкновенного. Уже при внесении небольшой дозы загрязнителя (0,25 ПДК) наблюдалось снижение всех основных биологических показателей экологического состояния почвы.

В результате исследования [5] установлено, что химическое загрязнение почвы ТМ приводит к нарушению выполнения ее экологических функций. Причем нарушение экологических функций почвы по мере увеличения концентрации химического вещества происходит в такой последовательности: информационные биохимические, физико-химические, химические и целостные физические. Различные экологические функции почвы нарушаются при различной концентрации в ней загрязняющего вещества. Этот факт может лежать в основе экологического нормирования загрязнения почв.

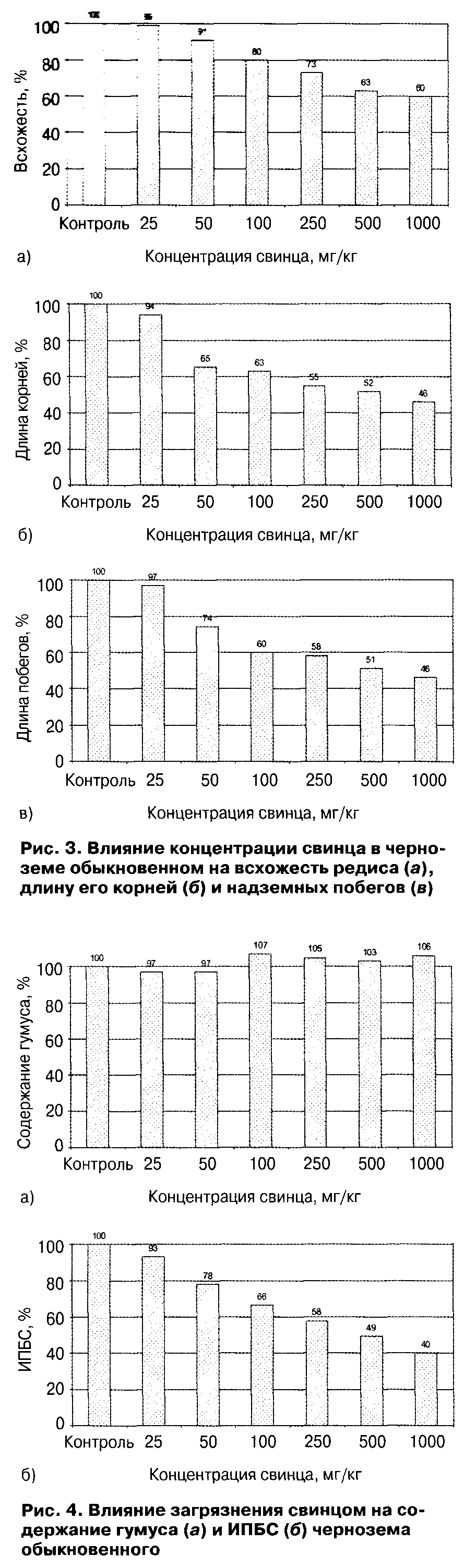


Рис. 4 (а, б, в, г, д)

В качестве критерия степени нарушения экологических функций почвы предлагается использовать ИПБС.

По результатам исследования было получено уравнение регрессии, отражающее зависимость ИПБС от содержания свинца. По этому уравнению были рассчитаны концентрации ТМ, при которых происходит нарушение тех или иных функций почвы.

Предложенный подход и полученные количественные значения содержания свинца в почве, вызывающие нарушение разных экологических функций, представляется целесообразным использовать при экологическом нормировании, когда главной целью должно быть сохранение экологических функций почвы.

Ниже приведена классификация загрязнения черноземов по содержанию в них свинца и нарушению экологических функций, а также ответные действия по "оздоровлению" почв — способы санации [1, 4]: Нарушения экологических функций почвы не происходит, пока значения ИПБС не снижаются более чем на 5 % [5]. Такое снижение зарегистрировано при концентрации свинца более 45 мг/кг. Меньшее содержание можно считать экологически безопасным.

**Глава 4. Накопление картофелем растительных остатков при загрязнение почвы кадмием и свинцом**

Изучено накопление растительных остатков картофелем на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в зависимости от удобрений и загрязнения почвы кадмием и свинцом. Установлено, что количество послеуборочных остатков находится в прямой зависимости от продуктивности картофеля. На фоне совместного применения органических и минеральных удобрений загрязнение почвы кадмием увеличивало количество растительных остатков в 1,3 раза, загрязнение свинцом в - 1,5 раза.

Надземные (пожнивные, поукосные) и корневые остатки культурных растений являются одним из основных источников восполнения органического вещества в почве. Различные антропогенные факторы, в том числе загрязнение почв ТМ могут привести к неодинаковой реакции сельскохозяйственных культур как в накоплении растительных остатков так и в содержании в них различных элементов – загрязнителей.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, характеризуется слабокислой реакцией, средним содержанием гумуса, повышенным – подвижных форм фосфора и калия. В качестве удобрений использовали аммонийную селитру, двойной суперфосфат, хлористый калий в дозах по N – 90, P2O5 – 90, K2O – 125 кг/га. Навоз вносили в дозе 30 т/га.

В вариантах с загрязнением вносили сернокислые соли свинца и кадмия в дозах по элементам соответствующих среднему уровню загрязнения

Таблица 4

Влияние удобрений и загрязнения почвы кадмием и свинцом на урожайность картофеля и массу послеуборочных растительных остатков

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианты опыта | Урожайность | | Масса остатков (корни + ботва) | | Масса корней | Отношение остатков к урожаю клубней |
| ц/га | % к контролю |
| ц/габсолютно сухого вещества с 1 га | | |
| 1.Контроль (б/у) | 83 | 100 | 6,6 | 4,5 | | 0,08 |
| 2. NPK | 244 | 294 | 8,6 | 5,8 | | 0,04 |
| 3. Навоз + NPK | 261 | 314 | 10,0 | 6,6 | | 0,04 |
| 4. Cd | 93 | 112 | 6,5 | 4,4 | | 0,07 |
| 5. NPK + Cd | 250 | 301 | 8,2 | 5,5 | | 0,03 |
| 6. Навоз + NPK + Cd | 273 | 329 | 11,7 | 7,2 | | 0,04 |
| 7. Pb | 77 | 92 | 6,0 | 4,3 | | 0,08 |
| 8. NPK + Pb | 241 | 290 | 7,5 | 5,3 | | 0,03 |
| 9. Навоз + NPK + Pb | 281 | 339 | 15,6 | 9,9 | | 0,06 |
| HCP05 | 18,1 | - | - | - | | - |

Результаты исследований показали, что удобрения увеличивали урожайность картофеля более чем в 3 раза. При этом количество послеуборочных остатков находилось в прямой зависимости от продуктивности картофеля. Внесение минеральных удобрений увеличивало количество остатков в 1,3 раза, совместное внесение минеральных удобрений с навозом – в 1,5 раза (таблица 4).

Загрязнение почвы кадмием и свинцом оказывало стимулирующее влияние на количество корневых остатков картофеля при совместном внесении органических и минеральных удобрений. При этом при загрязнении почвы Cd количество остатков увеличивалось в 1,2 раза, свинцом – 1,6 раза.

В составе послеуборочных остатков преобладали корни, удельный вес которых составил в вариантах без загрязнения 66 – 68 %, при загрязнении почвы Cd – 62 – 68 %; Pb – 63 – 72 %.

Отношение растительных остатков к урожаю клубней снижалось при внесении органических и минеральных удобрений.

**Литература**

1. Левин Ф.И. О роли картофеля в биологическом круговороте азота и зольных элементов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1965. - № 5. – С. 27-36.

2. Леонова Н.С. Рост и развитие растений картофеля в условиях in vitro при повышенной концентрации тяжёлых металлов в среде / С.-х. биология. Серия биология растений. – № 3. С. 107-109.

1. Добровольский Г.В. Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990.

2. Звягинцев Д.Г., Кураков А.В., Умаров М.М., Филип 3. Микробиологические и биохимические показатели загрязнения свинцом дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1997. № 9.

3. Колесников СИ, Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000.

4. Колесников СИ., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биоэкологические принципы мониторинга и нормирования загрязнения почв. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2001.

5. Колесников СИ., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. 2002. № 12.

6. Колесников СИ., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006.