

Академические соревнования Олимпиады школьников
«Шаг в будущее» на 2023-2024 учебный год

Экологическая оценка почв и растений в техногенной зоне г. Усолье-Сибирское, Иркутской области

Автор: ***Шергина Арина***, учащаяся 10 класса химико-биологического профиля
МБОУ «Лицей № 1», г. Усолье-Сибирское Иркутской области

Руководитель: ***Браташ Светлана Петровна***, учитель химии высшей квалификационной категории МБОУ «Лицей № 1», г. Усолье-Сибирское Иркутской области

Научный консультант: ***Шергина Ольга Владимировна***,
к.б.н., с.н.с. ФГБУН СИФИБР СО РАН, г. Иркутск

г. Усолье-Сибирское, Иркутская область

2023 год

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	7
1.1. Почвы и растения в городской среде. Методы очистки загрязненных почв с помощью растений (современное состояние вопроса).....	7
1.2. Физико-географическая характеристика района исследований.....	10
1.3. Уровень техногенного загрязнения г. Усолье-Сибирское.....	12
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	13
2.1. Выполнение полевого этапа и выбор объектов исследований.....	13
2.2. Методы лабораторного анализа почв и растений.....	16
2.3. Химические свойства техногенных почв.....	17
2.4. Изучение фитотоксичности почв по отношению к прорастанию и росту растений.....	19
2.5. Рекомендации по очистке и восстановлению техногенных почв промышленной зоны г. Усолье-Сибирское.....	22
Общие выводы	23
Список использованной литературы	24
ПРИЛОЖЕНИЕ	

Введение

Изучение состояния окружающей среды на урбанизированных и промышленных территориях всегда является одним из приоритетных направлений современных научных исследований в области экологии и природопользования [Экология города, 2004]. Многие города Иркутской области характеризуются сложной экологической обстановкой. Город Усолье-Сибирское принадлежит к территориям с выраженной неблагоприятной экологической ситуацией, что вызвано расположением крупных небезопасных производств на его территории, функционировавших на протяжении многих десятилетий при больших объемах производства. К настоящему времени в городе функционирует фармацевтическая, соледобывающая промышленность, лесобрабатывающее производство, машиностроительный завод и ТЭЦ. Однако огромное опасение вызывают последствия работы уже закрытого в 2010 году крупнейшего химического производства Восточной Сибири – «Усольехимпром». По данным Федерального экологического оператора – предприятия госкорпорации «Росатом», значительное количество твердых промышленных отходов данного химического производства складировалось на полигонах, образуя техногенные отвалы и отстойники [Отчет..., 2020]. К настоящему моменту накоплено более 1 млрд тонн техногенных отходов, а площадь отвалов составляет более 610 га [Государственный доклад..., 2019]. В результате на обширных территориях, многие из которых непосредственно прилегают к городским застройкам, наблюдается деградация природных экосистем, вплоть до полного уничтожения растительных сообществ и истощения земельных ресурсов. При складировании отходов промышленного производства на полигонах «Усольехимпром» сформировались значительные площади земель, занятые техногенными отвалами и хвостохранилищами. Загрязняющие вещества, сосредоточенные в техногенной зоне, резко изменяют естественное состояние окружающей среды прилегающих территорий, что в первую очередь проявляется в нарушении экологического функционирования растительности и почвы – ключевых средообразующих компонентов экосистемы [Николаевский, 1998].

В результате антропогенного (в том числе техногенного) преобразования окружающей среды в г. Усолье-Сибирское наблюдается сложное сочетание естественных и искусственно созданных почв, что придает почвенному покрову специфичную мозаичность. Известно, что растительность напрямую зависит от состояния почв, от накопления или же недостатка каких-либо веществ в ней и служит ее индикатором [Владимиров, 1982]. В данной работе большое внимание отводится изучению состояния почвенного покрова и растительности – важных компонентов экосистемы [Ильин, 1991]. Городские почвы и растения имеют огромное экологическое значение, выполняя функцию биологического стабилизатора окружающей среды. Растения обладают уникальной фильтрующей способностью. Они поглощают из воздуха/почв и нейтрализуют в тканях значительное количество вредных веществ, способствуя сохранению экологического равновесия в экосистеме [Кулагин, 1974]. Почве принадлежит ведущая роль в функционировании биосферы, утрата или необратимая деградация почвенного покрова может рассматриваться как гибель экосистемы.

В последние десятилетия в научной области при изучении техногенных почв большое внимание уделяется их восстановлению с помощью различных биоиндикаторов, например, травянистых растений. Такие исследования позволяют решать важные экологические задачи и приобретают практическое значение для создания устойчивых природных экосистем. Наиболее эффективным методом очистки загрязненных почв считается фитоэкстракция [Бекузарова и др., 2018]. Метод подразумевает поглощение растениями вредных соединений из почвы и концентрирование их в надземных органах с последующим удалением фитомассы. Исходя из изложенного, нами были предприняты исследования изучения очистки и восстановления техногенных почв с помощью тест-биообъектов.

Необходимо выделить, что сложившаяся на данный момент времени экологическая ситуация в г. Усолье-Сибирское, приводит к необходимости решения вопросов, касающихся сохранения почв и растений в условиях очень высокого техногенного воздействия. При этом своевременное изучение свойств и процессов в

загрязненных почвах и растениях позволяет адекватно оценить степень неблагополучия экологической ситуации на городской территории.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки загрязненных почв в промышленной зоне территории «Усольехимпром» и представлением научно-практических результатов о возможности очищения и восстановления почв методами фитоэкстракции, что в дальнейшем позволит снизить ухудшение состояния окружающей среды и улучшить экологическую ситуацию на городской территории.

Объекты исследования: техногенные почвы промышленных отвалов предприятия «Усольехимпром», травянистые и древесные растения, произрастающие в техногенной зоне.

Предмет исследования: состояние окружающей среды городской территории по показателям почв и растений.

Гипотеза исследования: современные биологические и геохимические методы позволяют выполнить очистку и восстановление техногенных почв, сохранение растительного покрова, а значит привести к оздоровлению окружающей среды загрязненной территории.

Цель исследования – изучить состояние и загрязнение техногенных почв и произрастающей на них растительности в пределах промышленной зоны города Усолье-Сибирское, дать современную оценку экологической ситуации и предоставить возможные способы очищения и восстановления почв с помощью методов биоиндикации.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

- 1) с помощью методов комплексной оценки почв определить:
 - морфологические и физические свойства почв техногенной территории;
 - классификационное название почв;
 - диапазон кислотности почв;
 - содержание аммония, нитритов и нитратов, подвижного хлора, сульфатов в почвенных вытяжках;
 - накопление питательных веществ в почвах (азот, фосфор, калий);
 - содержание ряда тяжелых металлов в почвенных образцах.

2) с помощью методов биоиндикации растений выполнить:

- визуальную оценку естественного произрастания травянистых и древесных растений на техногенной территории;
- геоботаническое описание травянистой растительности;
- оценку фитотоксичности почв по отношению к прорастанию и росту растений;
- биотестирование токсичности почв с сине-зеленой водорослью *Nostoc*;
- изучение морфологических изменений ростовых параметров испытываемых растений (*Triticum*).

3) с помощью методов экологического контроля окружающей среды оценить:

- экологическую ситуацию на техногенно нарушенных территориях города;
- целесообразность использования предложенных методов очистки и восстановления техногенных почв, возобновления травянистой растительности и улучшения состояния окружающей среды.

Новизна. Впервые в промышленной зоне «Усольехимпром» проведено изучение особенностей почвообразования на техногенных отвалах, предложен метод биологической очистки и восстановления почв с помощью травянистых растений (видов-индикаторов) и водоросли *Nostoc*.

Апробация работы. По полученным результатам исследований подготовлено две печатные работы в сборники научно-практических конференций: «Особенности почв промышленной территории «Усольехимпром», Иркутской области (XXII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования», 21–23 апреля 2022 г.); «Экологическая оценка почв и растений на техногенно нарушенной территории г. Усолье-Сибирское» (V Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий», 22 апреля 2022 г.).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 27 страницах машинописного текста, содержит 7 таблиц, 15 рисунков и список литературы, насчитывающий 28 наименований.

Автор выражает благодарность своему руководителю Светлане Петровне Браташ за помощь при проведении экспериментов и обсуждении полученных результатов; руководителю Дарье Олеговне Ашараповой за постановку методик почвенных исследований и помощь при выполнении аналитических исследований; с.н.с. СИФИБР СО РАН, к.б.н. Ирине Николаевне Егоровой за предоставленные коллекционной культуры сине-зеленой водоросли *Nostoc punctiforme*; с.н.с. Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, к.б.н. Пройдаковой Ольге Анатольевне за помощь в определении тяжелых металлов в почвенных образцах; научным сотрудникам Малой школьной Академии при СИФИБР СО РАН за консультативную работу на протяжении пяти лет; своим родителям за поддержку и всестороннюю помощь.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Почвы и растения в городской среде. Методы очистки загрязненных почв с помощью растений (современное состояние вопроса)

Современный город представляет собой источник сложного антропогенного воздействия на все компоненты его экосистемы. При этом основное негативное влияние оказывают такие факторы, как, загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий и автотранспортом, увеличение рекреационной нагрузки. В Иркутской области промышленное загрязнение оказывает значительное влияние на состояние окружающей среды. Многие города региона входят в первую десятку наиболее загрязненных территорий России [Государственный доклад..., 2020]. Отдельной группой в городах занимают предприятия, которые не функционируют и, казалось бы, не оказывают воздействия на окружающую среду. Однако с закрытием они прекратили не только свою производственную и природоохранную деятельность, но и не осуществили рекультивацию промышленной площадки и утилизацию оставшихся производственных отходов. На территории Иркутской области особую опасность представляет «Усольехимпром», где постоянно

возникает угроза утечки опасных отходов [Отчет..., 2020]. Напряженность экологических проблем в каждом городе определяется в зависимости от следующих обстоятельств: масштаба города, природных условий территории, характера и масштабов производства, особенностей застройки [Экология города, 2004].

Проблема изучения качества городской среды рассматривается многими исследователями. Возрастающие масштабы воздействия человека на природу породили глобальную, имеющую первостепенное значение для всего человечества, проблему ухудшения качества окружающей среды. За последние десятилетия проблема охраны окружающей среды и здоровья населения приобрела приоритетное значение в кругу проблем, стоящих перед человечеством в третьем тысячелетии. Большое внимание отводится исследованиям растительности и почвенного покрова – важным индикаторным компонентам городской территории. Почва в городских условиях – мощный своеобразный фильтр, поглощающий и до некоторой степени обезвреживающий токсичные выбросы. Уникальной фильтрующей способностью обладают и растения, они не только способны поглощать из воздуха и почв значительное количество вредных веществ, но и поддерживать оптимальный экологический баланс в атмосфере [Кулагин, 1974; Николаевский, 1979].

Интенсивная деятельность человека в пределах крупных городов приводит к существенному и часто необратимому изменению окружающей среды: изменения рельефа, естественная растительность сменяется аборигенной, формируется специфический тип городского микроклимата, за счет увеличения площадей застройки и искусственных покрытий уничтожается почвенный покров [Герасимова др., 2003]. В городских условиях у растений и почв вырабатываются защитные реакции, позволяющие существовать в жестких условиях. Однако устойчивость почв и растений к антропогенному воздействию не может быть безграничной. Среда современного города нарушает нормальное протекание почвообразовательных процессов. В отличие от воды и атмосферы скорость самоочищения почвы, особенно в городских условиях чрезвычайно мала, поэтому в почве постоянно происходит накопление загрязнителей. Большое отрицательное воздействие городской среды на почву выражается в ее загрязнении отходами промышленного производства. В

современный период в городах увеличивается доля техногенных почв, происхождение и свойства которых определяются не только природными факторами, но и промышленной деятельностью человека. Развитие этих почв в экосистемах приводит к изменению структуры почвенного покрова и к дальнейшему преобразованию ландшафтов [Андроханов, Курачев, 2010].

В условиях промышленного загрязнения растения способны выполнять роль фитофильтра, очищая почвы от токсикантов путем поглощения загрязняющих веществ [Кулагин, 1974]. Учитывая высокую чувствительность растений ко многим промышленным загрязнителям можно обоснованно связывать неудовлетворительное состояние растений с характером загрязнения воздуха и почв, а также использовать их в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды [Николаевский, 1979]. Метод очистки почв с помощью растений называется фиторемедиацией, он довольно активно используется во всем мире. Однако в научной сфере постоянно идут работы по поиску растений, способствующих очищению почв путем поглощения и накопления техногенных соединений в надземной и подземной фитомассе. При этом авторы рекомендуют использовать для восстановления почвы в основном травянистые растения [Левкин, 2012]. Что касается именно естественного процесса восстановления техногенных почв, то он практически не изучен, возможно, потому что почвы на территориях химического загрязнения считаются в этом отношении неперспективными. Вместе с тем, такие исследования нужны, поскольку их результаты представляют большой научный интерес, так как дают возможность выявить виды растений, способных преобразовать и оздоровить сильно загрязненную техногенную почву.

Наиболее эффективным методом очистки загрязненных почв тяжелыми металлами считается фитоэкстракция. Метод подразумевает поглощение растениями токсикантов из почвы и концентрирование их в надземных органах с последующим удалением фитомассы [Бекузарова и др., 2018]. Биохимические механизмы аккумуляции растениями загрязнителей из почв до конца не выяснены, соответственно, такие исследования остаются актуальными. При выборе растений для фитоэкстракции веществ большое значение имеет биологическая

избирательность того или иного вида к высоким концентрациям загрязнителей и приспособленность его к местным почвенно-климатическим условиям, а также способность к быстрому росту и активному транспорту токсикантов из корневой биомассы в надземную [Высоцкий, Фрунзе, 2019]. Поэтому подбор растений, которые бы отвечали всем этим критериям и были способны произрастать в жестких условиях техногенного загрязнения почв, является одной из важных задач биогеохимических исследований, направленных на восстановление техногенных территорий [Уфимцева, 2015].

Необходимо отметить, что каждый город заслуживает особого индивидуального рассмотрения с экологической точки зрения. Важность экологического анализа городской среды родного региона заключается в том, что его результаты имеют большое практическое значение.

1.2. Физико-географическая характеристика района исследований

Город Усолье-Сибирское – промышленный центр и железнодорожный узел Иркутской области [Экогеохимия..., 1993]. Площадь города составляет 74 км², население около 83,4 тыс. жителей. Он располагается на юге Среднесибирского плоскогорья на левом берегу р. Ангары (приложение, рис. 1).

Географическое положение на юге Иркутской области и сложный рельеф определяют климатические особенности района. Климат относится к категории резко континентального с холодной и продолжительной зимой (5-6 месяцев) и теплым, с обильными осадками летом. Эти черты климата тесно связаны с особенностями физико-географических условий и циркуляцией атмосферы. Максимальная температура июля +36С, а минимальная температура января -49С. Общее продолжительность зимнего периода 130-140 суток, летнего 80-110 суток. Осень и весна имеют краткий период от 40-60 суток [Беркин и др., 1993].

В окрестностях города распространены сосновые и лиственнично-сосновые леса. Растительный покров представлен ассоциациями из толокнянки и брусники. Пригородные леса играют важную роль в оздоровлении воздушного бассейна города

и его окрестностей. Особенностью лесов района является различий возрастной структуры насаждений, чему способствует вторичный характер этих лесов. Основные лесные массивы города располагаются на северо-западе и юго-западе. С восточной стороны города леса представлены относительно небольшими массивами [Винокуров, Суходолов, 2010].

Почвенный покров обследованной территории отличается значительным разнообразием. Наиболее широкое распространение на территории исследования имеют серые лесные почвы [Кузьмин, 1988]. Серые лесные почвы подразделяется на три подтипа: собственно серые лесные, светло-серые лесные и темно-серые лесные почвы. Подтипы существенно различаются по морфологическим признакам строения почвенного профиля, интенсивности окраски органогенных горизонтов, содержанию гумуса и другим свойствам. Темно-серые и светло-серые почвы встречаются пятнами среди обширных площадей серых лесных почв. Мощность гумусовых горизонтов собственно серых лесных почв составляет около 15-20 см, окраска серая, иногда с буроватым оттенком, структура мелкокомковатая. Реакция серых лесных почв слабокислая, а при наличии карбонатов – слабощелочная [Добровольский и др., 1998].

Леса являются преобладающим типом растительности. Средняя залесенность территории достаточно высока и составляет 80%. Остальную часть занимают луговая и болотная растительность, которые распространены преимущественно по долинам рек и ручьев. Основные закономерности пространственной организации растительного покрова определяются особенностями физико-географических и климатических условий обследованной территории. В окрестностях изученных городских территорий распространены сосновые и лиственнично-сосновые леса. Пригородные леса играют важную роль в оздоровлении воздушного бассейна города и его окрестностей. Особенностью лесов является различий возрастной структуры насаждений, чему способствует вторичный характер этих лесов. Живой напочвенный покров разнотравных сосняков разнообразен – всегда много злаков, из которых преобладает вейник (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), мятлик (*Poa pratensis* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Hudson). Обычно обильны бобовые (горошки однопарный (*Vicia unijuga* A.Br.), байкальский (*V.baicalensis* Turcz.) и мышиный (*V.*

Cracca L.), клевер люпиновидный (*Trifolium lupinaster* L.), а также чина низкая (*Lathyrus humilis* (Ser.) Spreng.). Осока немного, самой типичной является осока большехвостая (*Carex macroura* Meinsh.) [Беркин и др., 1993].

1.3. Уровень техногенного загрязнения г. Усолье-Сибирское

Экологическая ситуация в городе очень неблагоприятна, что вызвано расположением крупных небезопасных производств на его территории, функционировавших на протяжении многих десятилетий при больших объемах производства. Кроме того, город расположен между другими крупными промышленными центрами, такими как Зима, Ангарск, Шелехов и Иркутск. Роза ветров региона такова, что большая часть всех экологических выбросов попадает, в том числе и на территорию Усолье-Сибирское, а водные отходы Ангарска и Иркутска доходят до Усо́лья по Ангаре [Государственный..., 2019].

В городе выделяют крупную промышленную зону (приложение, рис. 2), которую можно разделить на три составляющие территории: первая – самая крупная промышленная зона, включающая территорию бывшего «Усольехимпром», «Усолье-Сибирский Силикон», «Усольехимфарм». Она отделена от города лесопосадкой и находится с левой стороны от Московского тракта. Вторая промышленная зона расположена вдоль р. Ангары с противоположной стороны города и включает в себя «Усольмаш». Третья промышленная зона состоит из молокозавода, кирпичного завода и др. Она расположена прямо в черте города возле оз. Молодежное [Кузьменко и др., 1999].

Уровень загрязнения воздуха в городе высокий. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в общем составляют 30,640 тыс.т. Основной вклад в суммарные выбросы загрязняющих веществ вносят ТЭЦ-11 ОАО «Иркутскэнерго» – 85,18%. Значительное количество специфических загрязняющих веществ на протяжении многих десятилетий поступало в почвы города от «Усольехимпром»: хлористый метил, пыль гипохлорита кальция, поливинилхлорид, хлористый водород, хлор [Государственный..., 2020].

Химическое загрязнение почв г. Усолье-Сибирское очень высокое. Наибольшему промышленному загрязнению подвержены территории вокруг города радиусом 0-10 км. В городе интенсивность выпадения металлов на почвенный покров в 7-22 раза выше, чем в естественных фоновых условиях [Государственный..., 2021]. По уровню загрязнения снегового покрова г. Усолье-Сибирское относится к числу наиболее загрязненных городов России. Максимальное содержание элементов-загрязнителей отмечается на промплощадке вблизи бывшего цеха ртутного электролиза. Особенностью химического состава снеговых вод территории промплощадки являются достаточно высокие величины pH, достигающие 10. На территории города также наблюдаются высокие значения pH снеговых вод. Скорее всего, такие значения обусловлены также влиянием выбросов ТЭЦ, находящейся на промплощадке [Государственный..., 2019].

В результате антропогенного преобразования в городе наблюдается сложное сочетание естественных и нарушенных почв, что придает почвенному покрову мозаичность. Согласно классификации городских почв [Агаркова и др., 1991], в городе одновременно существуют два типа: естественные почвы разной степени нарушенности и искусственно созданные – урбаноземы и индустриоземы. К группе естественных почв разной степени нарушенности относятся почвы с ненарушенной нижней частью профиля и антропогенно-нарушенной верхней частью. В промышленной зоне г. Усолье-Сибирское сформировались индустриоземы или эмбриоземы разных стадий почвообразования, которые различаются по содержанию органического вещества и мощности почвенного профиля.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Выполнение полевого этапа и выбор объектов исследований

Полевые работы проводились в 2020–2022 гг. Личный вклад автора заключается в подробном описании морфологии всех горизонтов техногенных почв, включая исследование образцов с помощью бинокулярного стереоскопического микроскопа,

а также изучении естественной влажности, в сборе и составлении геоботанических описаний травянистой растительности, в оценке жизненного состояния деревьев сосны, березы, тополя по ряду морфоструктурных параметров стволов, побегов, хвои и листьев, сборе талломов водоросли *Nostoc commune* на поверхности техногенных почв.

Исследования по изучению состояния почвенного покрова и растительности охватили техногенные территории вблизи промышленного предприятия «Усольехимпром» (приложение, рис. 3, 4). Конкретно нами исследовался отвал общей площадью 3,5 га (координаты местоположения: 52°46'52"N 103°35'26"E, высота над уровнем моря 539 м), созданный почти 40 лет назад, на котором к настоящему времени сформировались техногенные почвы – эмбриоземы.

В техногенной зоне города нами изучались почвы нескольких стадий почвообразования: инициальные (собственно техногенные поверхностные образования, представляющие собой отходы промышленного производства), органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные (приложение, рис. 5). В соответствии с классификацией и диагностикой техногенных почв проводилось изучение их морфологических признаков [Андроханов, Курачев, 2010]. Отбор образцов почвы проводился из верхних органо-аккумулятивных (0–5 см) и нижних минеральных (5–20, 20–30, 30–40, 40–50 см) горизонтов. Подробно исследовались органо-аккумулятивные эмбриоземы, которые являются первой стадией почвообразования и началом заселения травянистыми растениями. Результаты исследований сопоставлялись с данными для фоновой почвы, расположенной на значительном удалении (50 км) от г. Усолье-Сибирское, вблизи пос. Арансахой (52°41'06"N 103°15'03"E).

Показано, что все почвы имеют небольшую мощность почвенного профиля и слабое разделение на горизонты. Главное различие этих почв – это толщина верхнего органического слоя. Установлено, что в процессе почвообразования происходит изменение обнаженных безжизненных отвалов, которые постепенно преобразуются в техногенные почвы с выраженным верхним слоем из органических веществ. При этом каждой стадии почвообразования соответствует свой тип эмбриоземов: нулевая

стадия почвообразования – развитие инициальных эмбриоземов (это собственно техногенные поверхностные образования). Первая стадия почвообразования – развитие органо-аккумулятивных эмбриоземов. Для них характерно присутствие органической подстилки. Вторая стадия почвообразования – развитие дерновых эмбриоземов. Отмечается наличие хорошо сформированной дернины. Третья стадия почвообразования – развитие гумусово-аккумулятивных эмбриоземов. Для этих почв существует четкое выделение зоны, в которой происходит накопление гумуса.

В промышленной зоне изучались первые растения-поселенцы, или «пионеры», как их называют (приложение, рис. 6). Было установлено, что на техногенных почвах (органо-аккумулятивные эмбриоземы) произрастают только девять травянистых растений: донник белый – *Melilotus albus* Medikus., донник желтый – *Melilotus officinalis* (L.) Pall., клевер гибридный – *Trifolium hybridum* L., клевер ползучий – *Trifolium repens* L., клевер луговой – *Trifolium pratense* L., горошек мышиный – *Vicia cracca* L., люцерна посевная – *Medicago sativa* L., осот полевой – *Sonchus arvensis* L., иван-чай узколистый – *Chamerion angustifolium* (L.) Scop.

На техногенных почвах изучались визуальные показатели древесных растений (приложение, рис. 7). Необходимо отметить, что у деревьев наблюдается нарушение формирования корневой системы (появляется поверхностная корневая система и плохо развиваются всасывающие корешки), видоизменяются боковые побеги (из-за отмирания почек роста), распространены стволовые гнили и раковые заболевания стволов.

Результатом интенсивного техногенного воздействия на почвенный покров в промышленной зоне «Усольехимпром» является сильное нарушение визуальных показателей сосны обыкновенной (приложение, табл. 1).

Особенно сильно влияние техногенного загрязнения почв отражается на изменении длины побегов, массы и длины хвои, количества хвои на побегах (охвоенности побегов). Исследования показали, что побеги сосны могут значительно изменяться (приложение, рис. 8). На органо-аккумулятивных эмбриоземах эти показатели наименьшие: длина побегов снижается до 3,5 раз, длина хвои – до 2 раз,

масса хвои на побегах – до 7 раз, количество пар хвоинок на побеге – до 3 раз в сравнении с фоновыми условиями в естественном сосновом лесу.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о значительно сильном влиянии степени нарушенности и загрязнения почв на жизненное состояние древесных растений.

2.2. Методы лабораторного анализа почв и растений

Лабораторные исследования проводились на базе кафедры химии и пищевой технологии им. профессора В.В. Тутуриной Иркутского национального исследовательского технического университета. Консультативную помощь оказала Малая школьная академия при Сибирском институте физиологии и биохимии растений СО РАН. Большой объем экспериментальных работ по выращиванию растений на загрязненных почвах был выполнен в условиях «домашней лаборатории». Результаты по содержанию тяжелых металлов предоставлены аналитическим отделом института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

При изучении образцов почв было определено: кислотность среды, содержание в почвенных вытяжках аммония, нитритного и нитратного азота, водорастворимых форм хлора и серы, общее содержание азота, фосфора и калия (с помощью современных датчиков-анализаторов), а также фитотоксичность по отношению к прорастанию и росту растений. При выполнении серии анализов руководствовались методами химического анализа почв [Физико-химические..., 1966] и стандартами РФ для почв (ГОСТ Р 56157-2014). Фитотоксичность почв оценивалась по Международному стандарту ИСО 11269-1 [Фомин, Фомин, 2001].

Перед проведением анализов воздушно-сухие почвенные пробы, самостоятельно тщательно перетирались в большой фарфоровой ступке и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм. Из полученной пробы почвы брались навески на анализ.

Подробно остановимся на описании метода фитотоксичности почв по отношению к растениям. Токсичность среды – свойство химических веществ проявлять повреждающее или летальное действие на живые организмы. Вещество,

оказывающее токсическое действие, называется токсикантом. Под токсичностью почвенной среды понимают токсичность, возникающую, вследствие появления в ней токсических веществ природного или антропогенного происхождения. При исследовании фитотоксических свойств почв использовались семена пшеницы сорта «Иркутская озимая». Показателями токсичности служили: энергия прорастания семян и морфометрические показатели растений. Оценка фитотоксичности почв по отношению к растениям проводилась в 2 этапа. Первый этап заключался в проращивании семян пшеницы в почвенных вытяжках и подсчете их всхожести, второй – в изучении морфометрических показателей растений, выращенных как непосредственно в чашках Петри, затем – в пробирках, а также в специальных контейнерах с техногенной почвой (приложение, рис. 9).

Для экспериментов с водорослью *Nostoc* использовалась как живая культура *Nostoc punctiforme*, так и талломы *Nostoc commune*, собранные летом 2021 г. на техногенной почве.

2.3. Химические свойства техногенных почв

О влиянии на подщелачивание почв на территории г. Усолье-Сибирское химического производства свидетельствует тот факт, что в промышленной зоне города для техногенных почв обнаруживаются очень высокие значения щелочности верхних горизонтов (приложение, рис. 10). Например, для инициального эмбриозема pH_{H_2O} составляет 13-14, при следующих стадиях почвообразования она постепенно снижается – от pH_{H_2O} 11-12 (органо-аккумулятивный) до pH_{H_2O} 8-9 (гумусово-аккумулятивный эмбриозем). Использование разного соотношения почва:раствор при приготовлении вытяжек, показало, что даже при разбавлении щелочность техногенного грунта очень высокая и ее снижение происходит постепенно при дальнейшем развитии почв.

Азотный фонд почвы в основном представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса. Азот становится доступным растениям лишь после его перехода в подвижную форму. Степень подвижности азота зависит от многих

факторов: влажности, плотности почв, накопления гумуса и других. Содержание в почве водорастворимых солей азота характеризует обеспеченность их питательными элементами для растений и описывает биологическое окисление азотсодержащих органических соединений в почвах с участием микроорганизмов [Умаров, Кураков, 2007; Элементы..., 2012]. Изучение содержания солей азота показало увеличение их содержания по мере развития почв – от инициального до гумусового эмбриозема (приложение, табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют об улучшении питательных свойств почв и об обогащении их подвижным азотом, который может хорошо поглощаться корнями растений. Однако в сравнении с почвой фоновой территории естественного леса, эти показатели достаточно низки и могут указывать на первоначальное развитие почв на техногенных территориях.

Изучение содержания подвижного хлора и серы в почвенных вытяжках эмбриоземов показало высокое содержание ионов этих элементов (приложение, табл. 3). Сульфаты и хлориды наиболее характерны для загрязненных почв, на фоновых территориях их значения должны быть наименьшими. Соединения серы и хлора являются важнейшими веществами в производственных химических процессах. Однако предприятия вносят в окружающую среду значительную часть токсичных выбросов. Поэтому обнаружение концентраций этих элементов может свидетельствовать о токсичном загрязнении почв. Результаты показали, что в инициальном эмбриоземе превышение хлоридов составляет 14 раз, а превышение сульфатов – 9 раз.

Исследование питательных элементов – азота, фосфора, калия с помощью современных датчиков-анализаторов, обнаружило увеличение этих элементов по мере развития органического вещества почв (приложение, табл. 4). Соответственно, наибольшее содержание NPK выявлено в гумусово-аккумулятивном эмбриоземе. Однако при сравнении данных с фоновыми значениями, они значительно ниже, что указывает на низкое плодородие техногенных почв.

Тяжелые металлы – хорошо известные загрязнители окружающей среды из-за их токсичности, стойкости в окружающей среде. К этой группе металлов относят

элементы с атомной массой более 50 и плотностью более 5 г/см³ [Ильин, 1991]. Наиболее опасные для окружающей среды тяжелые металлы включают: Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As. Почвы являются основными поглотителями тяжелых металлов, большинство не подвергаются микробной или химической деградации, поскольку они не разлагаются. Их общие концентрации сохраняются в течение длительного времени после попадания в окружающую среду. Присутствие тяжелых металлов в почвах является серьезной проблемой из-за их наличия в пищевых цепочках, разрушающих всю экосистему [Почвообразование..., 1991].

Обнаружение тяжелых металлов в почвах показало их высокое содержание на техногенной территории. При сравнении содержания металлов в техногенной и фоновой почве, обнаружено их увеличение от 3 до 8 раз (приложение, табл. 5). Полученные результаты указывают на значительное загрязнение эмбриоземов металлами, следовательно, обнаруживают их токсичность для окружающей среды.

2.4. Изучение фитотоксичности почв по отношению к прорастанию и росту растений

В ходе экспериментов установлено, что техногенные почвы проявляют высокую токсичность по отношению к растениям. Под фитотоксичностью почв мы понимаем свойство почвы подавлять и замедлять рост и развитие растений. Результаты показали, что всхожесть семян в вытяжках из техногенных почв составляет 40-55% от фонового уровня. Установлено, что при выращивании растений пшеницы в почвенных вытяжках наблюдается дальнейший «эффект» фитотоксичности по отношению к растениям. Для измерения длины проростков и длины первого листа растения пшеницы сканировались, после чего в графической программе CorelDRAW Graphics Suite X3 выполнялись морфометрические измерения. Для каждой ПП проводилось по 100 измерений в трех кратной повторности. Данные были статистически обработаны (приложение, табл. 6).

Установлено, что на 3 и 5 день эксперимента происходит выраженное изменение морфометрических показателей проростков пшеницы. Исследования показали, что

длина проростков и первого листа значительно различается на городских и техногенных почвах. В зоне влияния «Усольехимпром» для каждой стадии техногенного почвообразования характерно значительное изменение морфометрических показателей растений пшеницы (приложение, рис. 11). Так, наименьшая длина проростков и первого листа пшеницы отмечается на вытяжках, сделанных из образцов инициального эмбриозема, а наибольшая – на вытяжках из эмбриозема с хорошо развитым гумусовым слоем (третья стадия почвообразования).

Фитотоксичность верхних горизонтов почв техногенных территорий рассчитывалась по Международному стандарту ИСО 11269-1:

$$T = 100 \times (N_{\text{всх.}} - N_{\text{пр.}}) / N$$

Где, T – степень токсичности почвы (%); N всх. – число семян, способных к прорастанию с учетом их всхожести; N пр. – число проросших семян. Полученные результаты исследований свидетельствуют, что техногенные почвы обладают наибольшей фитотоксичностью по отношению к растениям в сравнении с городскими почвами (приложение, табл. 7).

Обнаружено, что для инициального эмбриозема характерна наибольшая фитотоксичность в сравнении с почвами I, II, III стадии почвообразования. Интересная закономерность была нами выявлена в опытах с сине-зеленой водорослью *Nostoc punctiforme*. Для эксперимента использовались разные соотношения в суспензии почва:раствор и живая культура водоросли. При проведении исследований, было установлено, что водоросль улучшает прорастание семян во всех вариантах опыта, а значит, приводит к снижению фитотоксичности почвы (приложение, рис. 12).

Также, нами показано, что добавление водоросли *Nostoc Punctiforme* в вытяжки из техногенных почв способствует увеличению морфометрических показателей растений на 30–40%. В первую очередь, это обусловлено тем, что добавление водоросли в почвенную вытяжку приводит к снижению щелочности среды от сильнощелочного до слабощелочного диапазона. Этот интересный научный факт требует дальнейшего анализа.

Поскольку на техногенной территории нами была обнаружена на поверхности органо-аккумулятивного эмбриозема водоросль *Nostoc commune*, нас заинтересовала эта находка (приложение, рис. 13). Было решено провести еще серию экспериментов по выращиванию растений пшеницы на техногенных почвах с *Nostoc commune*.

Семена пшеницы были высажены в два контейнера с органо-аккумулятивным эмбриоземом. В один из контейнеров на поверхность грунта были размещены талломы водоросли. Начало эксперимента показало, что всхожесть *Triticum* значительно различалась, хотя семена имели хорошую всхожесть и были предварительно пророщены в одинаковых условиях. Дальнейшее проведение эксперимента выявило, что в контейнере с *Nostoc commune* рост и развитие растений также значительно лучше (приложение, рис. 14). При этом корневая биомасса пшеницы в контейнере с *Nostoc commune* активно развивается по поверхности и обволакивает талломы водоросли.

Полученные данные позволяют предположить, что *Nostoc commune* оказывает благоприятное воздействие на почвообразовательный процесс, улучшая питательные свойства грунта. Известно, что *Nostoc commune* является широко распространенным в наземных экосистемах вид, способный к фотосинтезу и фиксации атмосферного азота [Егорова и др., 2014]. Находка этого вида на поверхности техногенных почв подчеркивает его экосистемную значимость. Этот вид способен существовать в жестких условиях загрязнения почв, когда щелочность грунта достигает очень высоких значений. При этом *Nostoc* способен снижать щелочности среды, как это показано в опытах с *Nostoc punctiforme*. Использование сканирующего рН метра в опытах помогло подробно изучить изменение кислотности техногенных почв, на которых развиваются талломы *Nostoc commune* (приложение, рис. 15). Так, обнаружено, что при нахождении *Nostoc* на поверхности почв щелочность органо-аккумулятивного эмбриозема снижается с рН 10,2 до 8,0.

Кроме этого, обнаружено, что кислотность самого таллома водоросли также изменяется. Если первоначально кислотность талломов *Nostoc commune* составляла 5,4, то после их размещения на поверхности техногенного грунта и развития с ростом растений *Triticum*, кислотность изменилась в сторону щелочных значений и стала

составлять рН 6,7. Таким образом, можно говорить не только о снижении щелочности грунта, но и утверждать о влиянии на этот процесс водоросли *Nostoc commune*.

2.5. Рекомендации по очистке и восстановлению техногенных почв промышленной зоны г. Усолье-Сибирское

Проведенные исследования техногенных почв в полевых условиях и выполнение аналитических исследований позволили представить рекомендации возможного улучшения и восстановления техногенных почв.

1. Поскольку в естественных условиях, на техногенных почвах первыми поселяются и произрастают следующие виды травянистых растений: донник белый, донник желтый, клевер гибридный, клевер ползучий, клевер луговой, горошек мышиный, люцерна посевная, осот полевой, иван-чай узколистый, то их следует рекомендовать для посева на данных почвах в целях улучшения возобновления почвообразовательного процесса.

2. Для улучшения питательных свойств почв и повышения содержания азота, фосфора, калия рекомендуется дополнительно вносить на поверхность почв гумусовый слой, обладающий хорошими плодородными свойствами.

3. В целях сохранения развития талломов *Nostoc commune* не рекомендуется нарушать поверхность уже сформированных органо-аккумулятивных эмбриоземов и поддерживать их экосистемную роль на техногенных территориях.

4. Поскольку метод фитоэкстракции предполагает очищение техногенных почв путем скашивания надземной биомассы растений с накопленными в ней тяжелых металлов, исследованные травянистые растения вполне можно использовать в этих целях. Растения следует сеять, а затем ликвидировать их надземную часть.

5. Необходимо сохранять видовой состав «пионерной» травянистой растительности, поддерживать произрастание древесных растений, например, с помощью подсыпки плодородного слоя почв под поврежденную корневую систему деревьев.

Общие выводы

1. Предложенный в работе комплекс визуальных, морфологических, морфоструктурных показателей и перечень химико-аналитических исследований почв и растений позволяет достоверно охарактеризовать степень нарушенности и загрязнения промышленной территории «Усольехимпром» г. Усолье-Сибирское.

2. Выявлено значительное загрязнение почвенного покрова городской техногенной территории «Усольехимпром», о чем свидетельствует резкое смещение реакции почвенного раствора в сторону подщелачивания и высокая токсичность почв, подавляющая рост и развитие растений.

3. В техногенных почвах обнаружены высокие концентрации хлора, серы, тяжелых металлов, что указывает на их потенциальную опасность для окружающей среды.

4. Показано, что в присутствии живой культуры водоросли *Nostoc punctiforme* происходит улучшение развития проростков и роста растений, а также выраженное снижение щелочности почвенного раствора, что в свою очередь приводит к понижению токсичности почвенной среды и общему улучшению качества почвы.

5. Установлено, что талломы *Nostoc commune* способны восстанавливать техногенные почвы, поэтому могут служить надежными биологическими тест-объектами.

6. Произрастающие травянистые растения могут использоваться в качестве фитоэкстракторов загрязняющих веществ. Изученные виды хорошо приспособляются к произрастанию на техногенных почвах и могут накапливать большую биомассу.

7. Состояние почв и растений на урбанизированной территории нуждается в улучшении. Осуществление экологических и природоохранных мероприятий позволит существенно улучшить состояние почв и растений на городских и техногенных территориях.

Список использованной литературы

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
2. Бекузарова С.А., Ханиева И.М., Азубеков Л.Х. Фиторемедиация токсических почв // Успехи современного естествознания. 2018. №12. С. 345-352.
3. Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М., Наумова А.М., Руденко Г.В. Иркутская область (природные условия административных районов). Иркутск: ИГУ, 1993. 304 с.
4. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Города Иркутской области. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2010. 344 с.
5. Владимиров В.В. Растения и окружающая среда. М.: Стройиздат, 1982. 228 с.
6. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / Под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2020. 314 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2019. 307 с.
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2020 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2021. 330 с.
10. Добровольский Г.В., Шеремет Б.В., Афанасьева Т.В., Палечек Л.А. Почвы. Энциклопедия природы России. М.: АБФ, 1998. 368 с.
11. Егорова И. Н., Коновалов М. С., Патова Е. Н., Сивков М. Д., Степанов А. В. *Nostoc commune* (Cyanophyta / Cyanobacteria / Cyanoprokaryota) в наземных экосистемах Байкальского региона // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. биол. экол. 2014. Т. 9. С. 21-43.

12. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
13. Коновалова Т.И., Воробьев Н.В., Воробьева И.Б., Трофимова И.Е., Шеховцов А.И. Концепция комплексной оценки и мониторинга экологического состояния городской среды // Экологические проблемы города и пути их решения. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. С. 10-16.
14. Кузьменко Е.И., Шеховцов А.И., Савенкова Т.П. «Экологическая оценка состояния загрязненной территории северо – восточной части Усольского района и г. Усолье-Сибирское. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 1999. 14 с.
15. Кузьмин В.А. Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 175 с.
16. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
17. Кулагин Ю.З., Сергейчик С.А. О газоаккумулирующей функции древесных растений // Экология. 1982. № 6. С. 9-14.
18. Левкин Н.Д., Мухина Н.Е. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Известия ТулГУ. Науки о земле. 2012. Вып. 1. С. 9–14.
19. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 278 с.
20. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 1998. 192 с.
21. Отчет по экологической безопасности федерального государственного унитарного предприятия «Федеральный экологический оператор» за 2020 год. М.: ФГУП «ФЭО», 2021. 44 с.
22. Почвообразование и антропогенез: Структурно-функциональные аспекты / Под ред. И.М. Гаджиева. Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-ние, 1991. 188 с.
23. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 138 с.

24. Физико-химические методы исследования почв / Под ред. И.Н. Антипова-Каратаева. М.: Наука, 1966. 200 с.
25. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М: Изд-во «Протектор», 2001. 304с.
26. Экогеохимия городов Восточной Сибири. Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 1993. 108 с.
27. Экология города / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Научный мир, 2004. 624с.
28. Элементы минерального питания в почвах / Под ред. А.Б. Беляева. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Ворон. гос. ун-та, 2012. 29 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

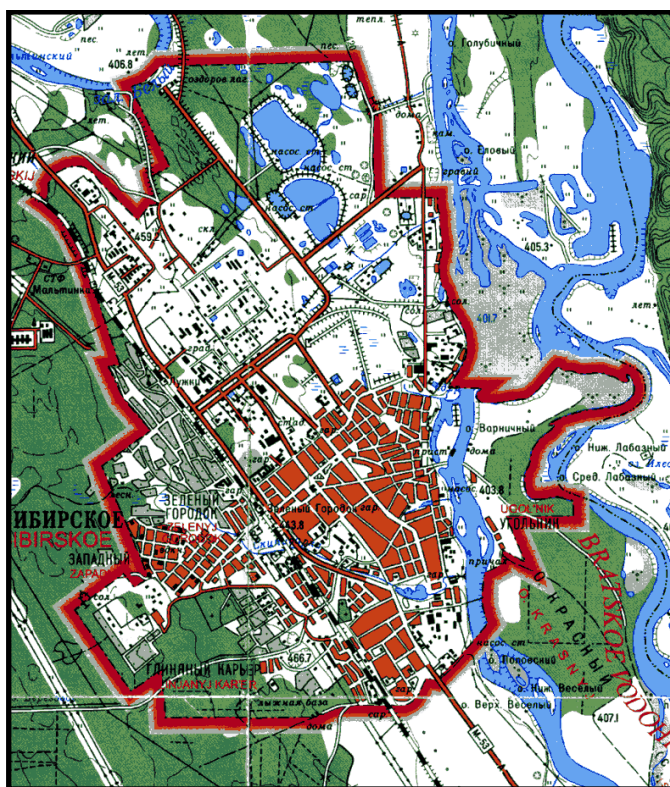


Рис. 1. Территориальные границы г. Усолье-Сибирское.

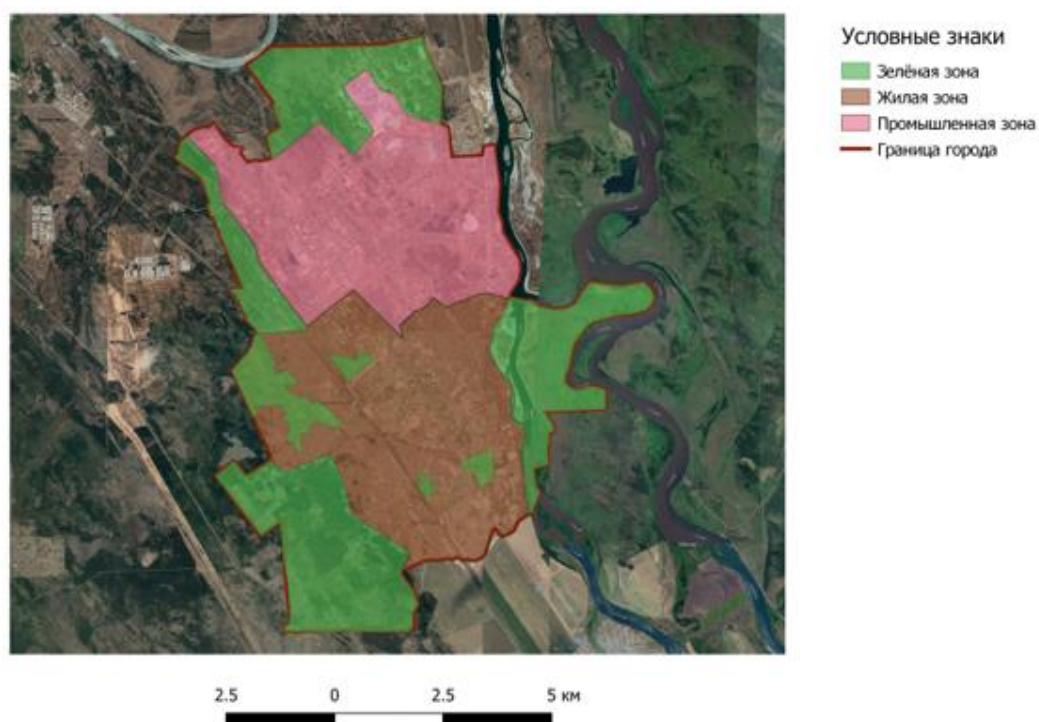


Рис. 2. Карта-схема с расположением жилых застроек, промышленной зоны и зеленых насаждений г. Усолья-Сибирского (автор: Шергина А.В.).

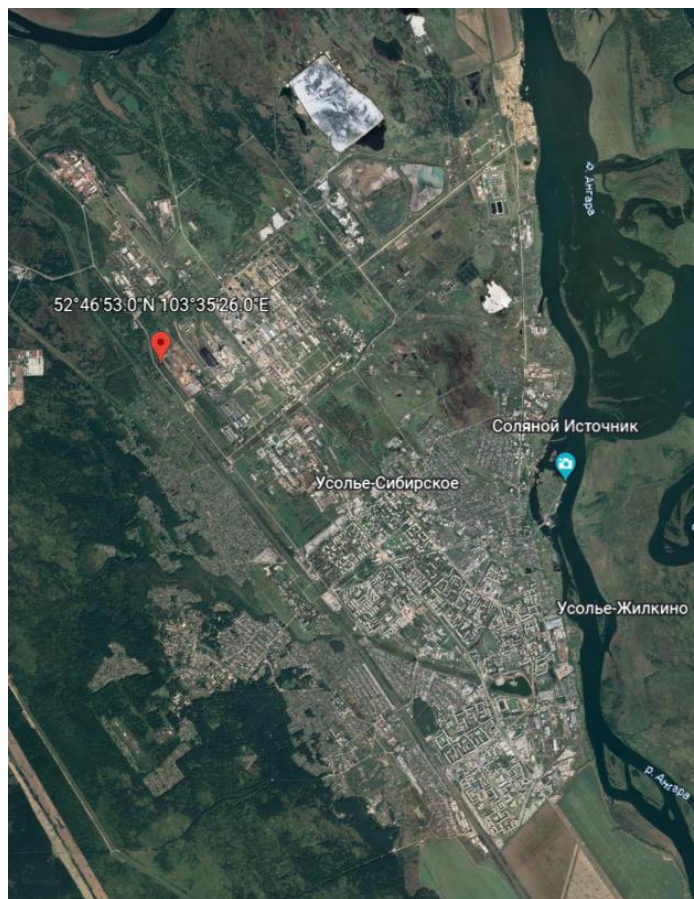


Рис. 3. Космоснимок из программы Google Earth. Месторасположение техногенного отвала на территории г. Усо́лья-Сибирского.

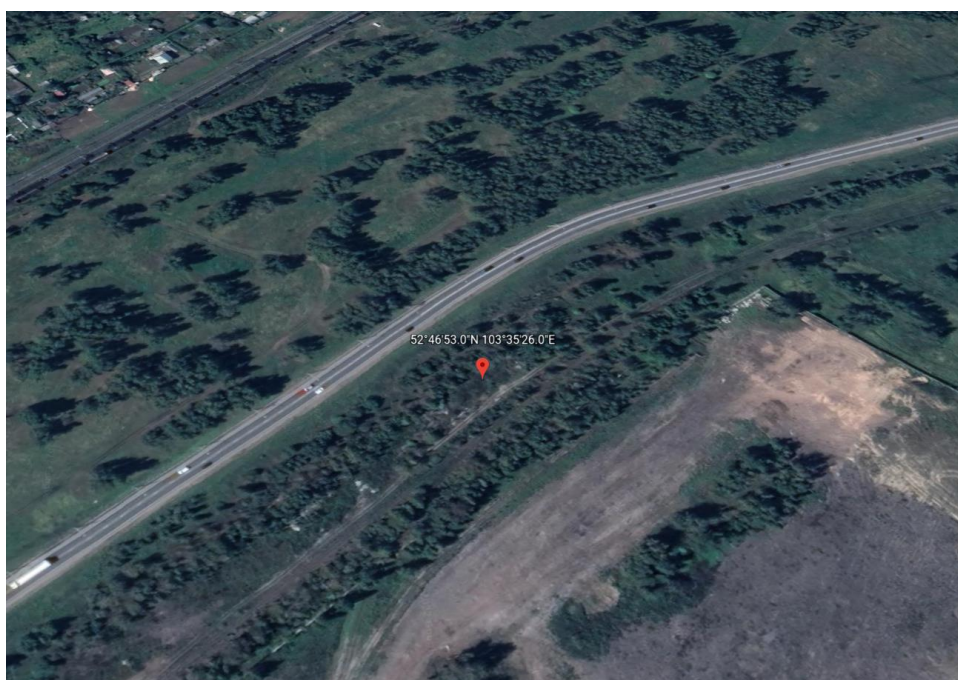


Рис. 4. Космоснимок из программы Google Earth. Природные ландшафты, окружающие техногенный отвал.



Рис. 5. Вид эмбриозема на склоне.



Рис. 6. Произрастание «пионерных» растений на эмбриоземе.

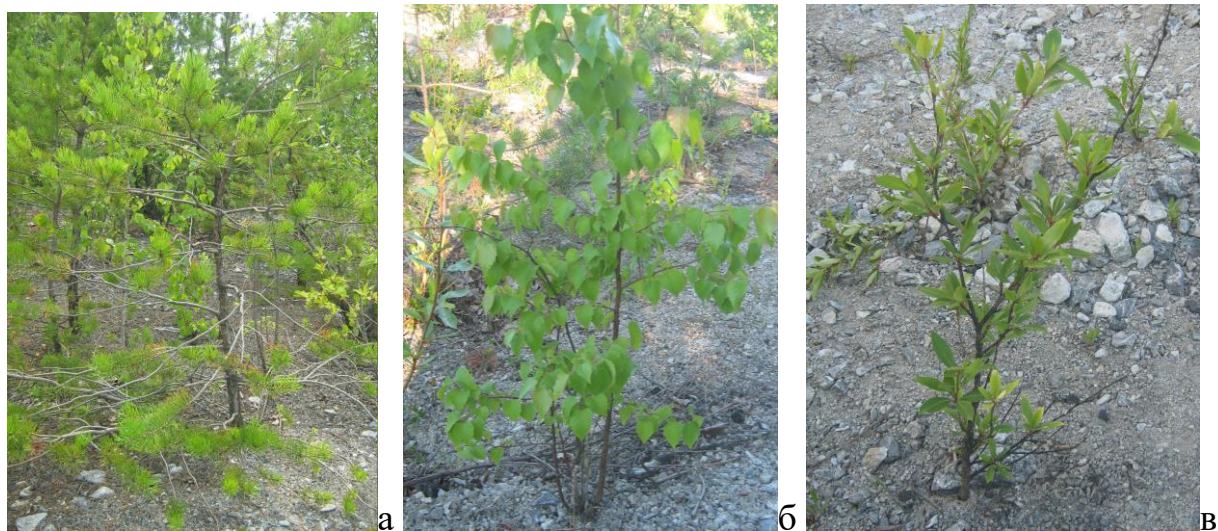


Рис. 7. Вид деревьев сосны (а), березы (б) и тополя (в), произрастающих на эмбриоземе.



Рис. 8. Побеги деревьев сосны, произрастающей на техногенной почве (слева) и в лесу (справа).



Рис. 9. Рост испытываемых растений *Triticum* на техногенном грунте.

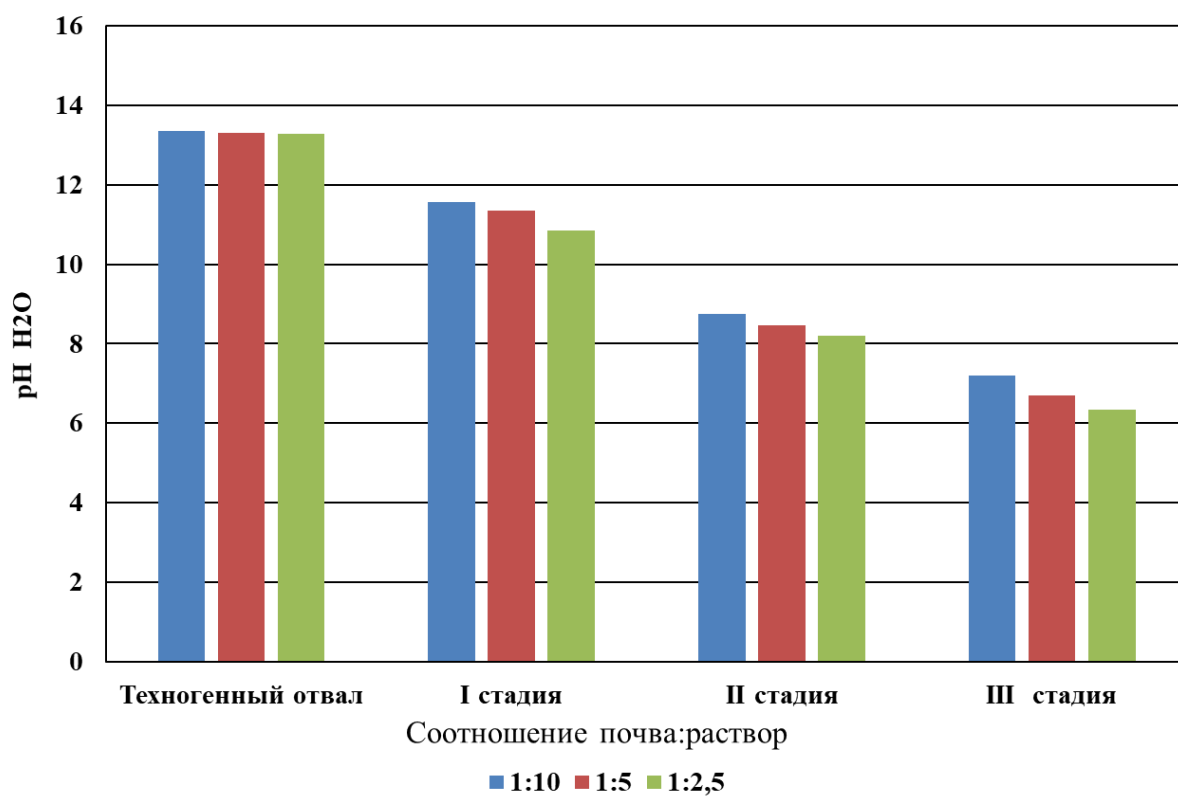


Рис. 10. Изменение кислотности техногенных почв разных стадий почвообразования.

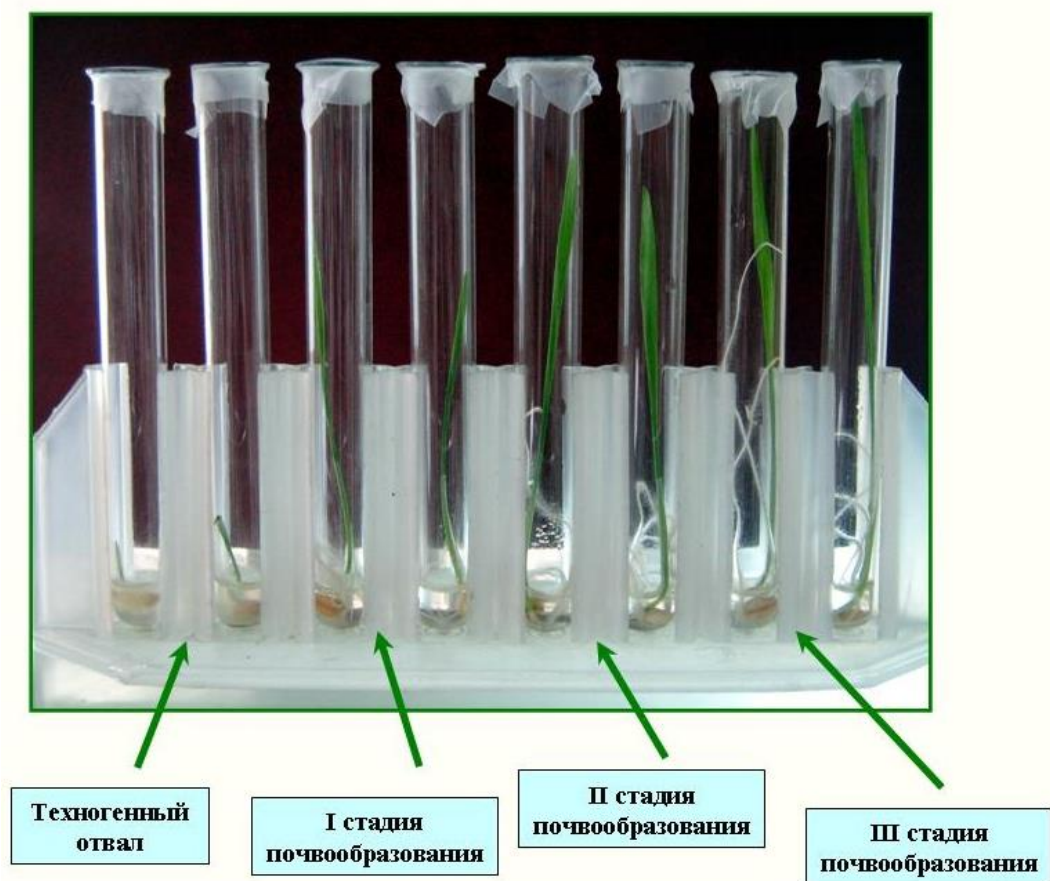


Рис. 11. Рост растений пшеницы в вытяжках из техногенных почв.

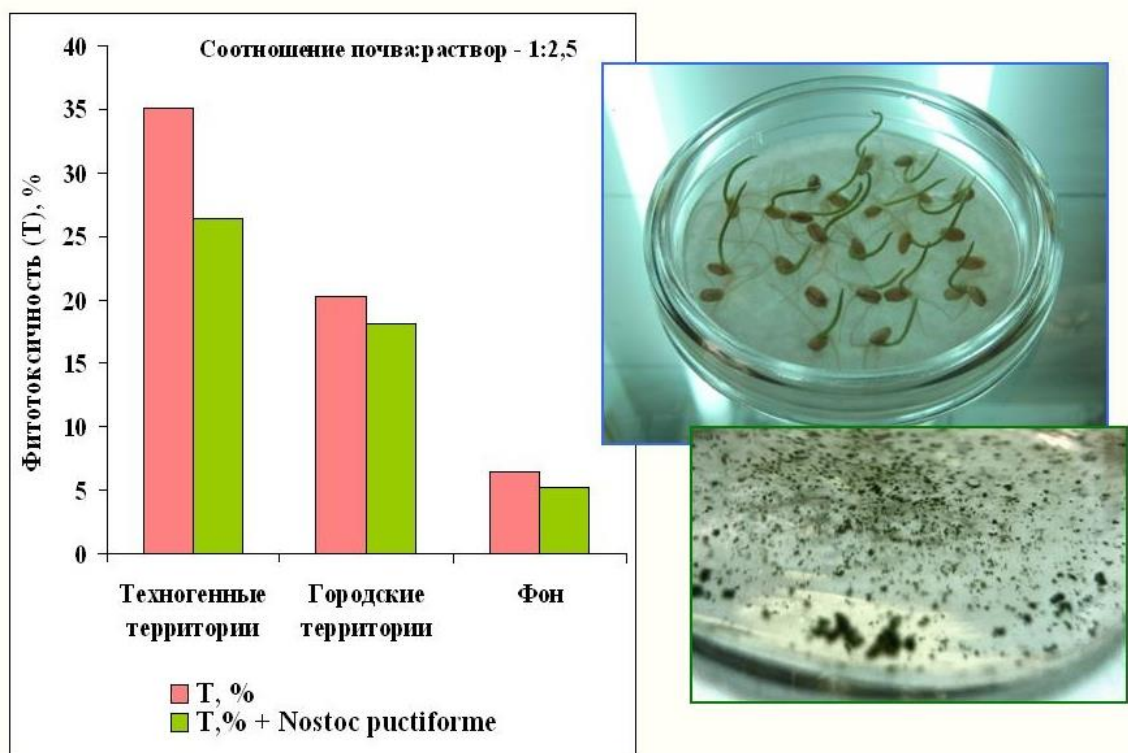


Рис. 12. Оценка фитотоксичности почв с *Nostoc punctiforme*.



Рис. 13. *Nostoc commune* на поверхности органо-аккумулятивного эмбриозема в промышленной зоне.



Рис. 14. Выращивание растений *Triticum* с *Nostoc commune* (справа) и без (слева) на органо-аккумулятивном эмбриоземе.



Рис. 15. Выполнение исследований со сканирующим рН метром.

Таблица 1. Морфометрические показатели побегов и хвои деревьев сосны, произрастающих на эмбриоземах и фоновой почве

Параметры деревьев сосны	Эмбриозем органо- аккумулятивный	Эмбриозем дерновый	Эмбриозем гумусово- аккумулятивный	Фоновая почва
Количество хвои на побеге 2-го года жизни, шт	38,21	43,12	61,53	112,5
Масса хвои на побеге 2-го года жизни, г	1,72	1,83	3,71	11,73
Длина побега 2-го года жизни, см	5,24	5,80	8,66	18,38
Длина хвои, мм	30,53	35,48	42,36	62,13

Таблица 2. Содержание водорастворимых солей азота в почвах

Почвы	NH_4^+ , мг/дм ³	NO_2^- , мг/дм ³	NO_3^- , мг/дм ³
Эмбриозем инициальный	8,56	0,25	1,26
Эмбриозем органо- аккумулятивный	8,77	0,32	2,26
Эмбриозем дерновый	9,33	0,35	3,85
Эмбриозем гумусово- аккумулятивный	9,38	0,37	5,76
Фоновая лесная почва	35,6	8,25	18,5

Таблица 3. Содержание сульфатов и хлоридов в почвах

Почвы	SO ₄ ²⁻ , мг/кг	Cl ⁻ , мг/кг
Эмбриозем инициальный	180,5	220,5
Эмбриозем органо- аккумулятивный	120,3	170,3
Эмбриозем дерновый	75,6	97,6
Эмбриозем гумусово- аккумулятивный	64,3	89,3
Фоновая лесная почва	20,3	15,3

Таблица 4. Содержание азота, фосфора, калия в почвах

Почвы	N, мг/кг	P, мг/кг	K, мг/кг
Эмбриозем инициальный	1	2	1
Эмбриозем органо- аккумулятивный	2	3	2
Эмбриозем дерновый	5	8	10
Эмбриозем гумусово- аккумулятивный	8	10	15
Фоновая лесная почва	25	40	75

Таблица 5. Содержание* тяжелых металлов в эбриоземах на техногенной территории

Символ	I стадия техногенного почвообразования	II стадия техногенного почвообразования
As	8,1	6,1
Cu	6,5	4,3
Pb	6,3	4,1
Cr	5,8	4,8
Cd	5,2	2,5
Zn	4,8	3,9
Ni	3,2	1,5

*Содержание вычислялись как отношение элемента в эбриоземе к его содержанию в природной почве.

Таблица 6. Морфометрические показатели роста растений пшеницы на почвенных вытяжках эбриоземов

Название территории обследования	Средняя длина проростков на 3 день опыта, мм	Средняя длина первого листа на 5 день опыта, мм
Техногенные поверхностные образования	5,3	10,8
I стадия почвообразования	6,7	14,3
II стадия почвообразования	10,2	20,4
III стадия почвообразования	12,8	23,5

Таблица 7. Фитотоксичность верхних горизонтов техногенных почв

Название территории обследования	Фитотоксичность, %
Техногенные поверхностные образования	52,3
I стадия почвообразования	44,6
II стадия почвообразования	38,2
III стадия почвообразования	31,8