

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

за 2024 год

по теме: ЭКОСИСТЕМНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕТЫСУСКОЙ ОБЛАСТИ:
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕПОНИРУЮЩИХ СРЕД И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Выполненный в рамках грантового финансирования № AP23488902

Объектом исследования является Жетысуская область.

Цель работы – исследование и оценка воздействия загрязнения депонирующих сред (снежного и почвенного покрова) на экосистемную устойчивость Жетысуской области с целью разработки эффективных стратегий по обеспечению экологической устойчивости региона.

Методы исследования включают химико-аналитический, хроматографический, атомно-абсорбционный и картографический методы, системный и сравнительный анализ, а также использование компьютерных технологии для обработки информации.

Согласно **разделу 1** Календарного плана в текущем 2024 году проведен анализ современного экологического состояния депонирующих сред территории области. Определены локации мониторинговых участков и проведены полевые и лабораторные исследования по отбору почвенных проб на химико-токсикологический анализ, также дана оценка уровня загрязненности почвы и их пространственное распределение. Построены карты распределения загрязнения почвы токсичными соединениями и проведен системный анализ полученных результатов.

1.1 Анализ современного экологического состояния депонирующих сред территории области

Область Жетысу, находящаяся в благоприятной природно-климатической зоне, обладает значительными природными ресурсами – плодородными землями и водоемами. Через область проходят важные транспортные коридоры, а близость к границе Китайской Народной Республики определяет ее стратегическое значение. Экономика региона ориентирована на аграрный и индустриальный секторы, что, с одной стороны, обеспечивает экономическую устойчивость, а с другой – увеличивает антропогенное давление на окружающую среду. В инфраструктурном отношении область сталкивается с ограниченными возможностями для переработки отходов и охраны окружающей среды.

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха области – предприятия теплоэнергетики, автомобильный транспорт, а также объекты аграрного и строительного секторов. Вместе с тем, в последние годы наблюдается внедрение природоохранных мероприятий, направленных на сокращение выбросов в атмосферу. Эти меры включают модернизацию очистных сооружений и улучшение технологических процессов, что позволило уменьшить концентрации неорганической пыли, сажи, углеводородов и тяжелых металлов.

Так, согласно данным РГП «Казгидромет», за последние пять лет показатель индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) продемонстрировал повышенные уровни загрязненности воздуха. Максимально-разовые превышения ПДК были зарегистрированы по взвешенным частицам РМ-10 (568 случаев), оксиду углерода (538 случаев), РМ-2,5 (240 случаев) и сероводороду (50 случаев). Характерное для холодного сезона усиление загрязнения связано с влиянием выбросов от теплоэнергетических предприятий и автотранспорта.

Источниками загрязнения водоемов области выступают предприятия коммунального хозяйства, горнодобывающая промышленность, пищевая отрасль, а также предприятия, осуществляющие сброс сточных вод. Наибольшая доля сбросов загрязняющих веществ (95 %) приходится на коммунальные службы, в то время как горнодобывающая промышленность и пищевая отрасль вносят меньший вклад (3,3 % и

1,5 % соответственно). Крупнейшими загрязнителями являются ГКП ВХ «Караталиригация», «Жетысу водоканал» и другие коммунальные предприятия региона. По данным мониторинга РГП «Казгидромет» за 2023 год, качество воды водных объектов области классифицируется на уровне 2 класса по Единой системе классификации. Основные загрязняющие вещества включают взвешенные частицы, нитрит-анионы и общий фосфор, превышающие ПДК

Антропогенное загрязнение почв области, особенно в городах Талдыкорган, Текели и Жаркент, характеризуется высоким содержанием тяжелых металлов (свинца и цинка), что связывается с прошлой деятельностью Текелийского свинцово-цинкового комбината, а ныне комбината по выплавке чугуна. Такие концентрации загрязняющих веществ негативно влияют на физические и биологические свойства почвы, снижают её плодородие и представляют угрозу для здоровья населения.

Сельскохозяйственные земли играют важную роль в экономике области, однако деградация почв, вызванная антропогенными воздействиями, оказывает негативное влияние на их продуктивность. Ранее проведенные нами исследования на территории дельты реки Иле и ГПР «Иле-Балкаш» выявили деградацию почв и растительности вследствие выбросов промышленных предприятий [1-3]. Определены превышения ПДК по содержанию меди, цинка, кадмия, кобальта и никеля, что свидетельствует о высоком уровне накопления загрязняющих веществ в почве.

Развитие области способствует росту благосостояния и культурного разнообразия, но сопровождается значительным антропогенным давлением на природную среду. Урбанизация, а также активная деятельность предприятий энергетики и аграрного комплекса ведут к опустыниванию, сокращению биоразнообразия, деградации водных ресурсов и почв. Эта ситуация требует внимания к экологическому состоянию области и усилению мер по контролю и снижению антропогенного воздействия на природную среду.

Анализ современного состояния депонирующих сред области выявил, что основными факторами загрязнения выступают промышленные выбросы, транспорт и коммунальные службы. Текущая экологическая обстановка региона характеризуется накоплением загрязняющих веществ в атмосфере, водоемах и почвах, что требует усиления мониторинга и модернизации природоохранных мер. Введение системного подхода к оценке и снижению антропогенной нагрузки, наряду с разработкой эффективных стратегий по управлению природными ресурсами, станет ключевым шагом для обеспечения экологической устойчивости региона.

1.2 Определение локаций мониторинговых участков. Организация экспедиции для сбора первичных данных

Для комплексного анализа и мониторинга состояния окружающей среды области была разработана система отбора проб на основе географического и геохимического анализа. Обширная территория области была разделена на равные участки площадью примерно 250 км² и представлена в виде сетки из 52 квадратов. Такой подход позволяет обеспечить систематическое и равномерное покрытие территории, минимизируя вероятность упущения зон с возможными аномалиями в распределении загрязняющих веществ. Локации для отбора проб, представленные на рисунке 1, были тщательно спроектированы, чтобы включать разнообразные природные и антропогенные зоны области.

Ключевые участки отбора проб определены с учетом:

Геохимического фона региона. Определение естественного уровня концентраций изучаемых веществ (металлов, токсикантов) в геохимическом фоне позволяет выявить участки с аномальными значениями, что критически важно для оценки техногенного воздействия на природную среду.

Антропогенной нагрузки. Включение территорий с высокой степенью антропогенного влияния (промышленные районы, зоны сельскохозяйственной активности,

населенные пункты) дает возможность определить степень распространения загрязнений, связанных с техногенной деятельностью.

Пространственного и функционального разнообразия экосистем. Участки отбираются с учетом экологических характеристик – рельефа, типа почв, водных ресурсов – для оценки влияния различных факторов на распределение загрязняющих веществ.

Такое структурированное разделение территории позволяет достичь высокой точности и воспроизводимости данных, предоставляя объективные сведения о характере и степени загрязнений на уровне области.

Была организована научная экспедиция с привлечением специалистов в области химико-аналитических методов, геохимии, экологии. Группа выполняла строго определенные задачи и следовала детально разработанному плану действий. Экспедиция включала:

Экспедиционная группа полноценно оснащена оборудованием для сбора, консервации и первичного анализа проб, в том числе пробоотборниками, герметичными контейнерами, стерильными инструментами и портативными метеорологическими станциями. Для удобства передвижения и быстрого доступа к отдаленным участкам использовался специализированный транспорт с лабораторным оборудованием для консервации проб. Пробы были зафиксированы с указанием точных географических координат и временных меток.

Каждая проба была зарегистрирована в полевом журнале с информацией о локации, времени отбора, погодных условиях и предполагаемых источниках загрязнения. Это обеспечило полный контроль за перемещением проб от точки отбора до лаборатории.

Методологический и организационный подход к сбору данных в области позволяет получить репрезентативные и научно обоснованные данные о состоянии депонирующих сред региона. Эти данные служат основой для анализа влияния техногенных факторов на окружающую среду.

1.3. Полевые и лабораторные исследования по отбору почвенных проб на химико-токсикологический анализ

В рамках исследований, направленных на оценку химико-токсикологического состояния почв области, полевая экспедиция для отбора проб проводилась в период с 25 сентября по 25 октября на установленных постоянных точках, распределенных по исследуемой территории (см. рисунок 1). Целью данного этапа работ было получение объективных данных о содержании тяжелых металлов, полихлорированных бифенилов (ПХБ) и других загрязняющих веществ в почвах.

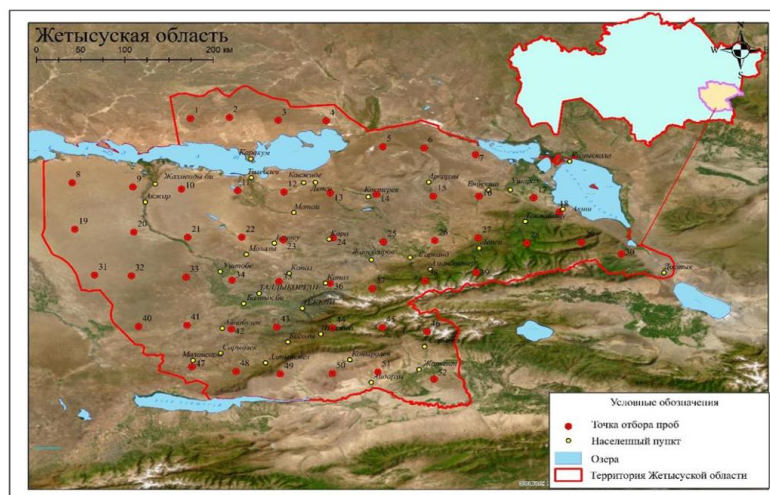


Рисунок 1 – Карта-схема с точками отбора проб почвы

Методология отбора проб

Отбор проб почвы производился методом конверта – с учетом диагонального пересечения площадки для обеспечения репрезентативности. Выбор участков для отбора проб был основан на детальном анализе геохимического фона, что позволяет точно определить территории с аномальными значениями концентраций исследуемых параметров. Таким образом, каждая проба отражает особенности почвенного покрова и типичные для генетических горизонтов слои.

В соответствии с нормативами [4], каждая объединенная проба была сформирована из точечных проб, собранных на одной площадке. Для анализа, объединенная проба составлялась из не менее пятиточечных проб, собранных с одной площадки, и весила не менее 1 кг, что обеспечивает точность и воспроизводимость последующих аналитических результатов.

Все этапы подготовки проб выполнялись с соблюдением мер для предотвращения попадания посторонних веществ, что особенно важно для проб, предназначенных для анализа на содержание тяжелых металлов. При сборе проб использовались инструменты, не содержащие металлов.

Для изучения загрязненности почвы поверхностно распределяющимися веществами (например, тяжелыми металлами и ПХБ) пробоотбор проводился послойно с глубины 0–5 см и 5–20 см. Каждая проба весила до 200 г, что позволяет анализировать пространственное распределение загрязняющих веществ.

Отобранные пробы высушивались до воздушно-сухого состояния [4]. Воздушно-сухие пробы затем хранились в матерчатых мешочках, картонных коробках или стеклянной таре для исключения потерь и дополнительных загрязнений.

Для анализа химических свойств почвенные пробы сушили на бумаге до воздушно-сухого состояния, разминаясь с предварительным удалением крупных включений (камни, ветки). Методом квартования от каждой пробы была получена навеска массой 0,2 кг, которая затем измельчалась и просеивалась через сито диаметром 1 мм. Для лабораторного анализа отбиралась навеска массой около 5 г, что соответствует требованиям точности исследования.

Для выделения подвижных форм металлов применялся метод РД 52.18.289-90 [5], с использованием ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8. Металлы в полученном растворе определялись методом атомно-абсорбционного анализа, что позволяет точно оценить содержание металлов в подвижной форме и их потенциальную доступность для биосферы.

Содержание тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Pb, Cd, Co и Ni, в пробах почвы определялось пламенным атомно-абсорбционным спектрометрическим методом с использованием спектрофотометра Shimadzu AA-7000 (Япония). Метод основан на измерении светопоглощения атомами металлов на специфических длинах волн, что позволяет точно определить концентрацию каждого металла в пробах (например, для меди – 324,7 нм, для цинка – 213,9 нм и др.). В целях калибровки использовались Государственные стандартные образцы (ГСО) с корреляцией $r = 0,99$, что гарантирует достоверность результатов.

Для определения ПХБ из каждой почвенной пробы проводилось экстрагирование загрязнителей с помощью n-гексана. Полученные экстракты (около 50 мл) были переданы в аккредитованную лабораторию ТОО «Нутритест» для анализа методом газо-жидкостной хроматографии с электронно-захватным детектором (ДЭЗ). Хроматографические условия включали температуру колонки 220 °С, температуру испарителя 240 °С и детектора 300 °С, а в качестве газа-носителя использовался азот со скоростью потока 38 мл/мин. Для калибровки использовался стандартный раствор Совола, содержащий конгенеры ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-138 и другие.

Организация полевых и лабораторных исследований на основе современных методик позволяет обеспечить высокую точность и воспроизводимость данных по загрязненности почв области. Применение методов атомно-абсорбционного анализа и хроматографии для определения тяжелых металлов и ПХБ позволяет получить надежные данные, необходимые для последующего анализа степени техногенного воздействия.

1.4 Оценка уровня загрязненности почвы и их пространственное распределение. Карты распределения токсичных соединений в почве

Результаты химико-токсикологического анализа почв на территории области показали следующие закономерности и особенности распределения тяжелых металлов и других химических показателей, определяющих состояние экосистем региона.

Значения pH почв варьируются от 5,7 до 8,1, что указывает на разнообразную кислотность почв в регионе. Большая часть исследуемых почв имеет нейтральную или слабощелочную реакцию, что характерно для почв с нормальной биологической активностью и способствует поддержанию здорового микробиологического состава. Минерализация почв варьируется в широком диапазоне – от 20 до 3240 мг/дм³. Высокие уровни минерализации свидетельствуют о значительном содержании солей, что может способствовать накоплению тяжелых металлов, особенно в почвах с более тяжелым гранулометрическим составом.

Почвы области охватывают широкий спектр гранулометрических типов: от песков и супесей до тяжелых суглинков и глин. Глинистые и суглинистые почвы обладают высокой сорбционной способностью и более эффективно удерживают загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы. В противоположность этому, песчаные почвы более проницаемы и склонны к вымыванию металлов, что делает их менее подходящими для долговременной аккумуляции загрязнителей.

Содержание меди в почвах варьируется от 0,003 до 0,037 мг/кг. Высокие концентрации меди были обнаружены в тяжелых суглинках и супесях на точках 24, 26 (до 0,037 мг/кг) и 28 (до 0,036 мг/кг), что может быть связано с локальными источниками антропогенного загрязнения и хорошей сорбционной способностью этих типов почв. Наименьшие концентрации меди (0,003 мг/кг) были зафиксированы в супесчаных почвах, к примеру (точка 46).

Концентрации цинка варьируются от 0,006 до 0,195 мг/кг. Наиболее высокие значения цинка (до 0,195 мг/кг) наблюдаются в восточных и юго-восточных частях области, включая районы около городов Сарканда и Жаркента, что свидетельствует о сильном локальном загрязнении, вероятно, связанном с промышленной и сельскохозяйственной деятельностью. Низкие концентрации цинка (0,008 мг/кг) характерны для центральных и западных частей области.

Низкие концентрации свинца отмечены в песчаных почвах северных и центральных районов, особенно около озера Балкаш и городов Талдыкорган и Сарканд (0,006–0,007 мг/кг). В восточных и юго-восточных частях, близ границы с Китаем, в районе Жаркента, зафиксированы высокие концентрации свинца, что может быть связано с трансграничным переносом загрязнителей и промышленной активностью вблизи границы.

Содержание кадмия варьируется от 0,001 до 0,009 мг/кг. Высокие уровни кадмия наблюдаются в почвах с высокой минерализацией в районах точек 26, 34 и 35 (вблизи Сарканд, Талдыкорган), а также около озера Жаланашколь (точки 29 и 30). Высокая минерализация почв может способствовать удержанию кадмия в данных районах.

Концентрации кобальта находятся в пределах 0,015–0,030 мг/кг. Наибольшие концентрации были обнаружены в тяжелых суглинках (до 0,030 мг/кг), что свидетельствует о склонности этих почв к накоплению кобальта в зонах с высокой антропогенной нагрузкой, особенно в центральных и южных районах, включая восточную границу с КНР.

Содержание никеля варьируется от 0,0081 до 0,024 мг/кг. Высокие концентрации никеля до 0,024 мг/кг отмечены на точках 26 и 28 в восточной части области, что может быть связано с наличием глинистых почв, способных удерживать металлы. Более низкие концентрации никеля характерны для центральных и западных районов.

Анализ распределения тяжелых металлов и химических показателей почв области указывает на значительное влияние гранулометрического состава и минерализации на способность почв к накоплению загрязняющих веществ. Глинистые и суглинистые почвы с высокой минерализацией имеют большую сорбционную способность и служат долговременными накопителями тяжелых металлов, тогда как песчаные и супесчаные почвы менее устойчивы к загрязнению из-за их высокой проницаемости.

Идентифицированные районы с повышенным содержанием тяжелых металлов в почве связаны с антропогенным воздействием, включая сельскохозяйственную и промышленную деятельность, а также с влиянием транспортной инфраструктуры. Данные результаты необходимы для дальнейшей разработки рекомендаций по управлению загрязнением почв и обеспечению экологической безопасности региона.

На изучаемой территории пробы почв для анализа ПХБ отобраны на 52 точках. Такое подробное исследование почвенного покрова данной территории для оценки уровня загрязнения почв ПХБ ранее не проводилось.

На основании полученного аналитического материала, можно прежде всего отметить о том, что ПХБ, зарегистрированы во всех образцах почв, подверженных хроматографическому анализу. Концентрация токсиканта в пробах почв изменяется в весьма широких пределах от 0,010 до 1,631 мкг/кг. Как следует из данных таблицы 2 (см. в Приложении 1), пустынная и полупустынная территория, где расположены точки №1-8, 19, 20, 31-33, выделяется сравнительно малой концентрации ПХБ в пределах 0,010-0,524 мкг/кг.

Сравнительно невысоким содержанием токсиканта характеризуется почвенный покров равнинной зоны, занимающей центральной и северо-восточной части изучаемой территории вблизи оз. Алаколь и рек. Суммарные значения концентрации ПХБ здесь были в интервале от 0,017 до 0,037 мкг/кг (точки №11-18 и 21-28), а на точках №35 и 39 они достигали 0,308 и 0,149 мкг/кг соответственно. Повышенная концентрация ПХБ до 0,637 и 1,042 мкг/кг отличались в почвах предгорной зоны (точки №30-38, 46, 50-52).

Наиболее высокие суммарные концентрации токсиканта зарегистрированы в почвах урбанизированных территорий, т.е. в районе городов и крупных населенных пунктов. Так, в районе г. Талдыкоргана (№ точек 43-45), содержание ПХБ в почве достигало 1,130 и 1,631 мкг/кг, г. Конаева – 0,454 мкг/кг, а с Жаркента – (№52) – 0,637 мкг/кг.

В образцах почв, подвергнутых хроматографическому анализу, идентифицирован в общей сложности 32 индивидуальных конгенера. Найденные конгенеры входили в гомологические группы от тетрахлорбифенилов до гептахлорбифенилов.

Встречаемость найденных конгенов в анализированных пробах весьма различна. 69% встречаемость принадлежит конгену ПХБ 97, относящиеся к гомологической группе пентахлорбифенилов. Возрастание суммарной концентрации ПХБ в почвенных пробах выше 0,454 мкг/кг вызвано исключительно за счет повышенного содержания этого конгена и постоянного его присутствия в образцах из точек №31, 37, 43, 45, 47 и 52. Предположительно этот конген имеет средний уровень токсичности. Относительная доля конгенов ПХБ 52 и 146 из гомологических групп тетра-гексахлорбифенилов доходило до 56 и 63%.

Конген 97 в составе ПХБ почвенного покрова предгорной и равнинной части Северного склона Иле Алатау, распространен довольно широко. Согласно результатам наших исследований территории Алматинской агломерации (АА), в почвах территории г. Алматы и малых городов (Каскелен, Есик и др.), а также некоторых населенных пунктов (Боралдай) ПХБ 97 регистрировался в частых случаях и в повышенных концентрациях. Наиболее высокое содержание, достигавшие в 2020 г. 1,403 и 7,900 мкг/кг было характерно для ПХБ 97. Аналогичное распределение конгенов ПХБ наблюдается и для почвенного покрова городской зоны. В почвенном покрове горной зоны относительная доля конгена ПХБ 97 достигала 97-100%, в почвенном покрове территории г. Алматы от 64 до 100%.

Наиболее важным вопросом, естественно, следует считать анализ присутствия среди конгенов ПХБ, обладающих более высокими токсичными свойствами, которыми являются строго контролируемые «маркерные» и диоксиноподобные изомеры.

Из приведенных в таблице 3 (см. в Приложении 1) материала прежде всего можно увидеть, что концентрация найденных диоксиноподобных и «маркерных» конгенов близки между собой и характеризуется значениями одного порядка. Абсолютное содержание «маркерных» конгенов было в интервале от 0,002 до 0,099 мкг/кг, а диоксиноподобных – от 0,062 до 0,168 мкг/кг.

Относительная доля «маркерных» конгенов ПХБ 52, 101, 138 и 153 менялась в основном в пределах от 0,4% до 66%. Для диоксиноподобных конгенов ПХБ 105, 114, 118 этот показатель характеризовался значениями от 0,1% до 46%.

При сопоставительном анализе полученных данных с материалами, приведенными в литературных источниках и собственных исследований, можно указать на следующее: среднее содержание ПХБ в почвах г. Москвы составило 14,4 мкг/кг, а максимум 60,6 мкг/кг отмечен в промышленной зоне [6]. В парково-рекреационной зоне оно было в пределах 12,1 и 58,9 мкг/кг. Согласно данным зарубежных авторов [7-9], в почвах Европейских стран концентрация ПХБ в диапазоне - 2-40 мкг/кг, в почвах Санкт-Петербурга она составляет в среднем 40 мкг/кг, в промышленной зоне до 74 мкг/кг [10], в почвах Минска от нулевых значений до 7880 мкг/кг.

По результатам наших исследований территории Алматинской агломерации (АА) [11] наиболее высокое суммарное содержание ПХБ в почве г. Алматы и малых городов (Каскелен, Есик и др.) достигало в 2018 г. 18,9 и 18,4 мкг/кг соответственно, в почвах малых населенных пунктов в 2020 г. этот показатель составил 13,7 мкг/кг, тогда как в почвах городских территории максимум ПХБ был в пределах от 4,4 до 7,9 мкг/кг. Конгенный состав ПХБ в почвах в 2018-2020 гг. по зонам АА был в целом аналогичен с данными, полученными на территории дельты р. Иле, что может свидетельствовать об аналогичности влияющих на почвы антропогенных факторов в Иле-Балкашском бассейне.

В почвенном покрове нижней части дельты р. Иле содержание ПХБ обнаружено до 6,78 и 9,79 мкг/кг, а в почвах центральной и левобережной частей дельты суммарная концентрация токсиканта достигала 18,4-35 и 25-80 мкг/кг соответственно. Более подробные сведения о распространении ПХБ в природных объектах; в т.ч. в почвах Иле-Балкашского бассейна содержатся в ряде публикации [12-14].

Приведенные выше результаты исследования показали загрязненность ПХБ почвенного покрова всей изученной территории. Выявлена существенная пространственная изменчивость уровня загрязнения ими под влиянием природных и

антропогенных факторов. Сопоставительный анализ показал невысокий уровень загрязненности ПХБ почв изученной территории по сравнению с почвенными покровами дельты р. Иле и некоторых городов зарубежных стран.

1.5 Системный анализ полученных результатов

Системный анализ данных по химико-токсикологическому состоянию почв области демонстрирует значительное разнообразие состава почв, обусловленное как природными, так и антропогенными факторами.

Диапазон кислотности почв, от слабокислой до слабощелочной (рН 5,7-8,1), и варьирующаяся минерализация до 3240 мг/дм³ свидетельствуют о высоком уровне гетерогенности почвенного покрова. Нейтральная и слабощелочная реакция почв на большей части территории обеспечивает стабильные условия для биологической активности, поддерживая микробиологическую устойчивость экосистем. В то же время высокая минерализация, характерная для восточной и юго-восточной части области, способствует удержанию тяжелых металлов, создавая условия для их долговременной аккумуляции, особенно в почвах с высокой сорбционной способностью, таких как тяжелые суглинки и глины.

Гранулометрический состав почв варьируется от песчаных до глинистых типов, что оказывает ключевое влияние на способность почв удерживать тяжелые металлы. Глинистые и суглинистые почвы, обладая значительной сорбционной способностью, склонны к аккумуляции тяжелых металлов. В противоположность этому, песчаные почвы, из-за своей проницаемости и слабой сорбционной способности, способствуют вымыванию загрязняющих веществ, что уменьшает их долговременное накопление.

Спектрометрический анализ показал наличие локализованных зон с повышенными концентрациями меди, цинка, свинца, кадмия, кобальта и никеля. Эти зоны, сосредоточенные преимущественно в тяжелых суглинках и глинистых почвах восточной и юго-восточной частей региона, коррелируют с основными антропогенными источниками загрязнения – сельскохозяйственной деятельностью, промышленным производством и транспортной инфраструктурой. Высокие концентрации тяжелых металлов в данных почвах указывают на их длительное удержание и потенциальную опасность для водных экосистем, так как такие почвы могут служить резервуарами загрязняющих веществ, постепенно высвобождая их в водные объекты и подземные воды.

Результаты системного анализа демонстрируют, что уровень загрязненности почв области зависит от сочетания природных факторов (кислотность, минерализация и гранулометрический состав) и антропогенных воздействий (сельское хозяйство, промышленное производство, транспорт). Данные подчеркивают необходимость учета этих факторов при оценке экологического состояния почв и их загрязненности тяжелыми металлами, а также при разработке стратегий по управлению качеством почв и охране окружающей среды.

Подробные результаты исследований представлены в приложении 1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о НИР Геоэкологический мониторинг депонирующих сред дельты р. Иле и Государственного природного резервата «Иле-Балкаш» (заключительный). Выполненный в рамках грантового финансирования ИРН № AP09260361 КН РК МНВО РК. – Алматы, 2023. – 106 с. № госрегистрации 0121PK00433.
2. Madibekov A.S., Ismukhanova L.T., Christian Opp., Saidaliyeva Z., Zhadi A.O., Sultanbekova B.M., Kurmanova M. Spatial distribution of Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni in the soils of Ili River delta and State Natural Reserve Ili-Balkhash // *Applied Sciences* (Switzerland). – 2023. – No. 13(10). – P. 5996. <https://doi.org/10.3390/app13105996>
3. Мадибеков А.С. Тяжелые металлы в депонирующих средах территории дельты реки Иле и Государственного природного резервата «Иле-Балкаш». Монография. – Алматы: Smart University Press, 2023. – 210 с.
4. СТ РК ИСО 8288-2005. Качество воды. Определение кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия и свинца. Пламенные атомно-абсорбционные спектрометрические методы (ИСО 8288:1986). Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан. – Астана, 2005. – 23 с.
5. РД 52.18.289-90. Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Государственный комитет СССР по Гидрометеорологии. – М., 1990. – 37 с.
6. Агапкина Г.И., Ефименко Е.С., Бродский Е.С. и др. Содержание и распределение полихлорированных бифенилов в почвах Москвы // *Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение*. – 2011. – № 1. – С. 39-45.
7. Кухарчик Т.И., Какарека С.В., Хомич В.С., Курман П.В., Воропай Е.Н. Полихлорированные бифенилы в почвах Белоруссии: Источники, уровни загрязнения, проблемы изучения // *Почвоведение*. – 2007. – № 5. – С. 532-540.
8. Meiger S.N., Oskenden W.A., Sweetman A. et al. Global distribution and budget of PSBs and HSB in back-ground surface soils: implication for sources and environmental processes // *Environ. Sci. Technol.* – 2003. – Vol. 37, N 4. – PP. 667-672.
9. Dioxins & PSBs: environmental levels and human exposure in candidate countries. ENV.C.2/SER/2002/0085. Final report. – Brussels, 2004. – 333 p.
10. Андреев В. Г., Баев А. С. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 1998 году. – СПб., 1999. – 542 с.
11. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Исмуханова Л.Т., Мұсақұлқызы А., Кулбекова Р.А., Жәди А.Ө. Токсичные соединения в снежном покрове и их влияние на природные объекты урбанизированных территорий (на примере Алматинской агломерации). – Алматы, 2021. – 200 с.
12. Амиргалиев Н. А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле-Балкашского бассейна. – Алматы: ТОО «Нурай Принт Сервис», 2016. – 192 с.
13. Amirgaliev N., Madibekov A., Mussakulkyzy A., Ismukhanova L., Kulbekova R. Polychlorinated biphenyls in the snow cover of Almaty agglomeration of the republic of Kazakhstan // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. Volume 19. Ecology, economics, education and legislation. Ecology and Environmental protection. (30 June - 6 July, 2019). – Albena, Bulgaria, 2019. – P. 541-549. (Scopus Cite Score 0.25| SJR 0.209| SNIP 0.457)
14. Amirgaliev N.A., Medeu A.R., Opp C., Madibekov A., Kulbekova R., Ismukhanova L., Zhadi A. Polychlorinated biphenyls in the snow cover of South-Eastern Kazakhstan // *Applied Sciences* (Switzerland). 2022. – 12 (17), 8660. – <https://doi.org/10.3390/app2178660>

Приложение 1

Результаты исследований

Таблица 1 – Результаты гранулометрического и химико-токсикологического анализа

Точки отбора проб	рН	Минерализация, мг/дм ³	Гранулометрический состав почв	Тяжелые металлы, мг/кг					
				Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni
1	6,2	110	тяжелый суглинок	0,035	0,023	0,004	0,005	0,019	0,014
2	6,2	190	средний суглинок	0,027	0,016	0,002	0,004	0,020	0,018
3	7,4	120	глина	0,026	0,018	0,004	0,005	0,019	0,009
4	8,1	170	тяжелый суглинок	0,020	0,008	0,001	0,003	0,018	0,012
5	7,6	160	супесь	0,029	0,020	0,005	0,003	0,027	0,014
6	7,8	60	песок	0,017	0,012	0,004	0,001	0,018	0,007
7	7,7	270	тяжелый суглинок	0,022	0,030	0,004	0,006	0,023	0,014
8	7,4	80	песок	0,028	0,013	0,004	0,003	0,025	0,011
9	7,6	170	песок	0,027	0,011	0,001	0,003	0,024	0,013
10	7,3	150	песок	0,028	0,018	0,000	0,004	0,022	0,008
11	7,4	60	песок	0,027	0,011	0,008	0,003	0,021	0,009
12	7,3	50	песок	0,028	0,009	0,006	0,003	0,018	0,008
13	7,3	150	супесь	0,031	0,016	0,006	0,004	0,020	0,012
14	7,4	90	супесь	0,031	0,016	0,007	0,003	0,020	0,011
15	7,2	50	супесь	0,028	0,011	0,004	0,002	0,016	0,012
16	5,7	50	супесь	0,026	0,015	0,005	0,002	0,018	0,010
17	7,0	760	тяжелый суглинок	0,028	0,022	0,006	0,003	0,017	0,008
18	7,4	70	тяжелый суглинок	0,031	0,022	0,005	0,005	0,017	0,005
19	7,3	40	песок	0,033	0,014	0,008	0,003	0,023	0,012
20	7,4	140	легкий суглинок	0,034	0,009	0,007	0,003	0,019	0,009
21	7,2	60	песок	0,032	0,010	0,005	0,003	0,019	0,012
22	7,1	60	супесь	0,034	0,009	0,007	0,004	0,021	0,004
23	7,2	50	песок	0,032	0,012	0,006	0,003	0,019	0,009
24	6,9	260	средний суглинок	0,037	0,011	0,008	0,004	0,020	0,011
25	7,1	70	тяжелый суглинок	0,036	0,010	0,006	0,003	0,019	0,011
26	7,3	80	тяжелый суглинок	0,037	0,020	0,008	0,006	0,018	0,021
27	7,0	30	глина	0,032	0,032	0,005	0,003	0,022	0,008
28	6,4	40	тяжелый суглинок	0,036	0,050	0,005	0,004	0,030	0,024
29	6,3	100	тяжелый суглинок	0,032	0,021	0,004	0,003	0,019	0,006
30	6,6	140	тяжелый суглинок	0,032	0,149	0,011	0,009	0,023	0,004
31	7,3	80	песок	0,032	0,014	0,007	0,004	0,020	0,012
32	6,9	170	песок	0,033	0,011	0,005	0,003	0,018	0,013
33	6,9	120	супесь	0,033	0,014	0,007	0,004	0,020	0,006
34	5,7	120	средний суглинок	0,036	0,010	0,006	0,006	0,017	0,012
35	6,2	100	тяжелый суглинок	0,008	0,018	0,006	0,005	0,018	0,007
36	6,5	90	легкий суглинок	0,005	0,017	0,004	0,003	0,018	0,007
37	6,7	80	тяжелый суглинок	0,005	0,011	0,004	0,003	0,019	0,008
38	6,6	80	тяжелый суглинок	0,006	0,017	0,003	0,003	0,020	0,007
39	6,6	160	тяжелый суглинок	0,013	0,195	0,005	0,006	0,017	0,002
40	6,8	70	песок	0,010	0,011	0,005	0,004	0,019	0,014

Точки отбора проб	pH	Минерализация, мг/дм³	Гранулометрический состав почв	Тяжелые металлы, мг/кг					
				Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni
41	6,8	90	супесь	0,009	0,013	0,006	0,003	0,018	0,009
42	6,9	30	супесь	0,011	0,011	0,004	0,003	0,016	0,009
43	6,7	160	средний суглинок	0,010	0,052	0,005	0,003	0,017	0,002
44	6,9	20	средний суглинок	0,010	0,028	0,003	0,003	0,019	0,002
45	6,6	3240	тяжелый суглинок	0,005	0,011	0,004	0,003	0,020	0,006
46	7,1	180	супесь	0,003	0,068	0,005	0,004	0,019	0,002
47	7,1	90	средний суглинок	0,007	0,007	0,003	0,003	0,017	0,009
48	7,0	80	супесь	0,005	0,006	0,002	0,002	0,016	0,003
49	7,0	110	средний суглинок	0,005	0,028	0,004	0,004	0,016	0,005
50	7,2	120	супесь	0,009	0,022	0,004	0,005	0,021	0,009
51	7,3	90	песок	0,006	0,006	0,003	0,004	0,015	0,005
52	7,1	200	глина	0,007	0,016	0,004	0,003	0,017	0,012

Таблица 2 – Концентрация и конгенерный состав ПХБ в почвенном покрове изученной территории

№ пробы	Место отбора проб	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/кг
1	1 точка	40; 41,64,71; 42; 44; 48; 49; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86; 87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137; 138; 141; 146; 151; 153; 155; 171	0,032
2	2 точка		0,013
3	3 точка		0,028
4	4 точка		0,025
5	5 точка		0,036
6	6 точка		0,025
7	7 точка		0,016
8	8 точка		0,010
9	9 точка		0,028
10	10 точка		0,029
11	11 точка		0,018
12	12 точка		0,032
13	13 точка		0,020
14	14 точка		0,033
15	15 точка		0,025
16	16 точка		0,026
17	17 точка		0,031
18	18 точка		0,017
19	19 точка		0,022
20	20 точка		0,038
21	21 точка		0,037
22	22 точка		0,033
23	23 точка		0,030
24	24 точка		0,023
25	25 точка		0,027
26	26 точка		0,020
27	27 точка		0,024
28	28 точка		0,033
29	29 точка		0,025
30	30 точка		0,095
31	31 точка		0,524
32	32 точка		0,022

№ пробы	Место отбора проб	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/кг
33	33 точка		0,027
34	34 точка		0,035
35	35 точка		0,308
36	36 точка		0,100
37	37 точка		1,042
38	38 точка		0,020
39	39 точка		0,149
40	40 точка		0,037
41	41 точка		0,025
42	42 точка		0,141
43	43 точка		1,631
44	44 точка		0,111
45	45 точка		1,130
46	46 точка		0,367
47	47 точка		0,454
48	48 точка		0,033
49	49 точка		0,036
50	50 точка		0,016
51	51 точка		0,027
52	52 точка		0,637

Таблица 3 – Содержание «маркерных» и диоксиноподобных конгенов в почвенном покрове

[illegible]

Точки отбора проб	«маркерные»								диоксиноподобные					
	ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
	мкг/кг	%	мкг/кг	%	мкг/кг	%	мкг/кг	%	мкг/кг	%	мкг/кг	%	мкг/кг	%
27 точка	0,003	13			0,002	9	0,003	15	0,002	10				
28 точка	0,003	8	0,002	7					0,003	8	0,002	7	0,003	10
29 точка					0,006	23	0,003	14	0,003	12				
30 точка	0,004	4	0,003	3			0,005	6	0,004	4				
31 точка					0,002	0,3			0,003	1			0,024	4
32 точка	0,005	21	0,002	11					0,002	8	0,002	7		
33 точка	0,002	7	0,003	12	0,002	7	0,003	11	0,003	11				

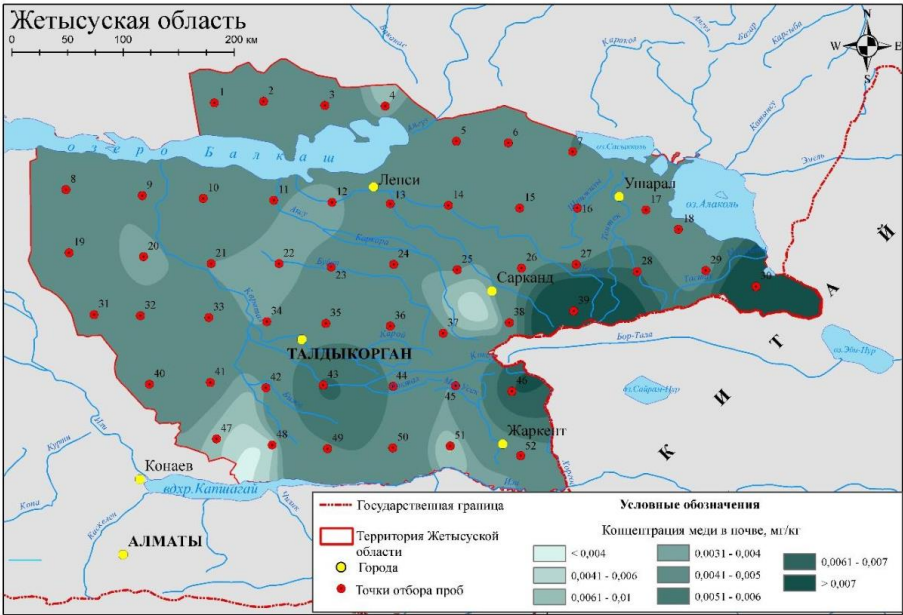


Рисунок 1 – Карта распределения концентрации меди в почве территории Жетысуской области

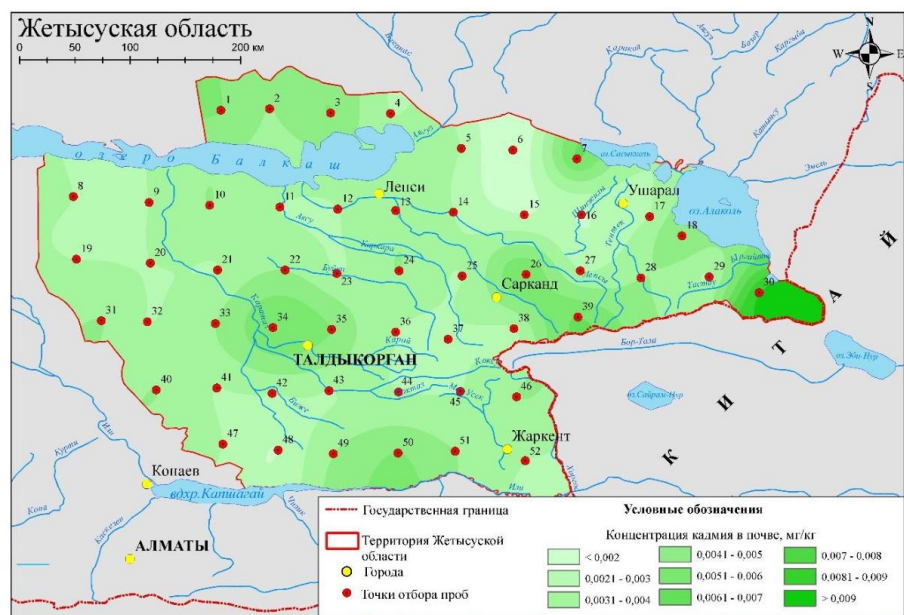


Рисунок 4 – Карта распределения концентрации кадмия в почве территории Жетысуской области

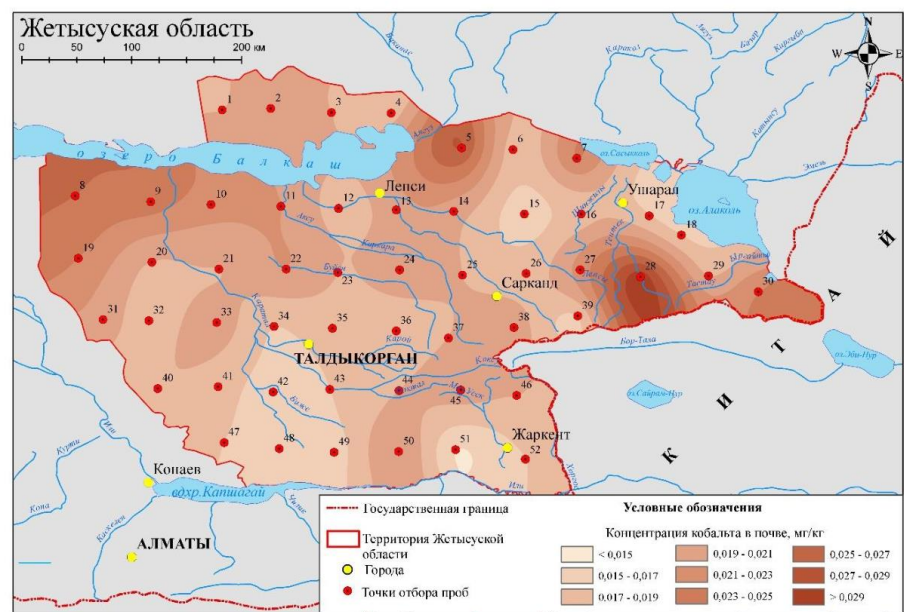


Рисунок 5 – Карта распределения концентрации кобальта в почве территории Жетысуской области

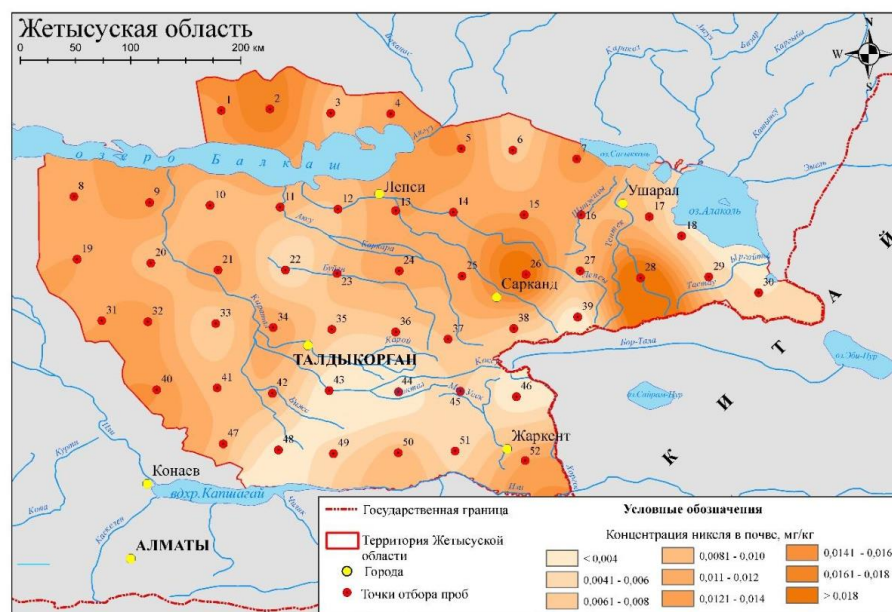


Рисунок 6 – Карта распределения концентрации никеля в почве территории Жетысуской области