



Научная статья

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОБЛАСТИ ЖЕТЫСУ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ

Нариман А. Амиргалиев¹ д.г.н., профессор , Азамат С. Мадиеков^{1,2} PhD, ассоциированный профессор , Лаура Т. Исмуханова^{1,2} PhD , Айнұр Мұсақұлқызы¹ к.т.н. , Ботакоз М. Султанбекова^{1,2} , Асхат Ө. Жәди¹ , Арай Ө. Сұлтанаева^{*1,2}

¹ АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан; namirgaliev@mail.ru (HAA), madibekov@mail.ru (ACM), l-aura@bk.ru (ЛТИ), mus_ain@mail.ru (AM), sultanbekova_botakoz@mail.ru (БМС), askhat.zhadi@mail.ru (АӨЖ), arai1104@mail.ru (АӨС)

² Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; madibekov@mail.ru (ACM), l-aura@bk.ru (ЛТИ), sultanbekova_botakoz@mail.ru (БМС), arai1104@mail.ru (АӨС)

*Автор корреспонденции: Арай Ө. Сұлтанаева, arai1104@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стойкие органические загрязнители, полихлорированные бифенилы, конгенеры, почвенный покров

АБСТРАКТ

В статье представлены результаты исследования загрязнения почвенного покрова области Жетысу Республики Казахстан полихлорированными бифенилами (ПХБ). Отбор почвенных образцов проводился в 2024...2025 гг. на 52 точках наблюдений, расположенных в различных природно-ландшафтных зонах региона. Анализ содержания ПХБ выполнен методом газовой хроматографии с электронно-захватным детектором в соответствии с требованиями нормативных документов. Установлено присутствие полихлорированных бифенилов во всех исследованных образцах почв. Суммарные концентрации ПХБ варьировали в пределах от 0,010 до 1,631 мкг/кг. Выявлено значительное разнообразие индивидуальных конгенов, включая индикаторные («маркерные») и диоксиноподобные соединения. Наиболее высокие концентрации загрязнителя зарегистрированы в почвах урбанизированных территорий. Сравнительный анализ результатов исследований 2024 и 2025 гг. показал заметное снижение содержания ПХБ в 2025 г., что может быть связано с сезонными особенностями отбора проб, перераспределением загрязнителей в почвенном профиле и пространственной неоднородностью их распределения. Полученные результаты свидетельствуют о сравнительно невысоком уровне загрязнения почвенного покрова региона полихлорированными бифенилами и могут быть использованы при организации экологического мониторинга стойких органических загрязнителей в рамках выполнения Республикой Казахстан международных обязательств по Стокгольмской конвенции.

1. ВВЕДЕНИЕ

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) относятся к числу наиболее опасных химических веществ, оказывающих долговременное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Данные соединения характеризуются высокой устойчивостью в природных условиях, способностью к биоаккумуляции и дальнему атмосферному переносу, что обуславливает их широкое распространение в различных природных средах [1].

В связи с высокой токсичностью и глобальным характером распространения СОЗ в 2001 г. была принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, направленная на сокращение и последующую ликвидацию производства и использования данных веществ. Конвенция вступила в силу в 2004 г., а Республика Казахстан ратифицировала ее в 2007 г., взяв на себя обязательства по контролю и сокращению выбросов данных соединений [2].

По статье:

Получено: 18.03.2026

Пересмотрено: 08.06.2026

Принято: 28.07.2026

Опубликовано: 01.10.2026

Для цитирования:

Амиргалиев Н., Мадиебеков А., Исмуханова Л., Мұсақұлқызы А., Султанбекова Б., Жәди А., Сұлтанбаева А., Оценка загрязнения почвенного покрова области Жетысу полихлорированными бифенилами//

Гидрометеорология и экология, 123 (3), 2026, 112-124.

Одной из наиболее распространенных групп стойких органических загрязнителей являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). Эти соединения широко применялись в промышленности в качестве диэлектрических жидкостей, теплоносителей, пластификаторов и компонентов технических масел. Несмотря на прекращение их производства в большинстве стран мира, они продолжают сохраняться в окружающей среде вследствие высокой химической стабильности и устойчивости к биологическому разложению [3].

Почвенный покров играет важную роль в миграции и накоплении стойких органических загрязнителей. Благодаря высокой гидрофобности и способности к сорбции органическим веществом почв ПХБ могут сохраняться в поверхностных горизонтах на протяжении десятилетий и участвовать в биогеохимических процессах природных экосистем [4...6].

На территории Казахстана выявлен ряд зон повышенного загрязнения ПХБ, связанных с деятельностью промышленных предприятий, энергетических объектов и бывших военных полигонов. В частности, значительные уровни загрязнения были зарегистрированы в районе Усть-Каменогорского конденсаторного завода, являвшегося одним из крупнейших производителей ПХБ-содержащего оборудования в регионе [7].

Вместе с тем данные о распространении ПХБ на обширных сельскохозяйственных территориях Казахстана остаются ограниченными. Особенно недостаточно изучено загрязнение почв регионального масштаба, что затрудняет оценку экологических рисков и разработку эффективных программ экологического мониторинга.

Область Жетысу расположена в юго-восточной части Республики Казахстан и характеризуется значительным разнообразием природных условий. Территория региона включает горные системы Северного Тянь-Шаня, предгорные равнины и пустынно-полупустынные ландшафты Прибалхашья. Крупнейшими водными объектами региона являются озеро Алаколь, а также реки Каратал, Лепсы, Аксу и Тентек.

Экономика области основана преимущественно на сельском хозяйстве, животноводстве, транспортной инфраструктуре и деятельности региональных промышленных центров. Наличие урбанизированных территорий, транспортных узлов и объектов энергетической инфраструктуры может способствовать поступлению различных загрязняющих веществ в окружающую среду, включая стойкие органические соединения.

Ранее авторами были выполнены исследования распространения ПХБ в различных природных средах юго-востока Казахстана, включая снежный покров, водные экосистемы и почвы урбанизированных территорий. Результаты исследования показывают о присутствии ПХБ в природных средах Иле-Балкашского бассейна и подтверждают необходимость проведения региональных исследований их пространственного распределения [8...10].

Целью настоящего исследования является оценка уровня загрязнения почвенного покрова области Жетысу ПХБ, а также анализ пространственного распределения и конгенерного состава данных соединений.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор почвенных проб

Отбор образцов проводился после завершения периода снеготаяния, что позволяет минимизировать влияние сезонного перераспределения загрязняющих веществ и получить репрезентативные характеристики поверхностного слоя почв. На каждой точке наблюдений закладывалась пробная площадка, на которой отбор проб осуществлялся методом «конверта» по диагонали. Данный метод предполагает отбор точечных проб по диагонали исследуемой площадки с последующим их объединением и позволяет получить интегральную пробу, характеризующую средний химический состав почвы на данном участке (рис. 1). Для формирования объединенной пробы отбирали пять точечных

проб, равномерно распределенных в пределах площадки. Отбор проб был проведен в 52 репрезентативных точках с учетом степени техногенной нагрузки на экосистему Жетысуской области. Выбор точек пробоотбора осуществлялся с целью обеспечения пространственной репрезентативности исследуемой территории и охвата участков с различным уровнем антропогенного воздействия. Количество точечных проб соответствовало требованиям ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб»; СТ РК 14507-2010 «Охрана природы. Качество почвы. Подготовка образцов к определению содержания органических загрязняющих веществ» [11, 12].

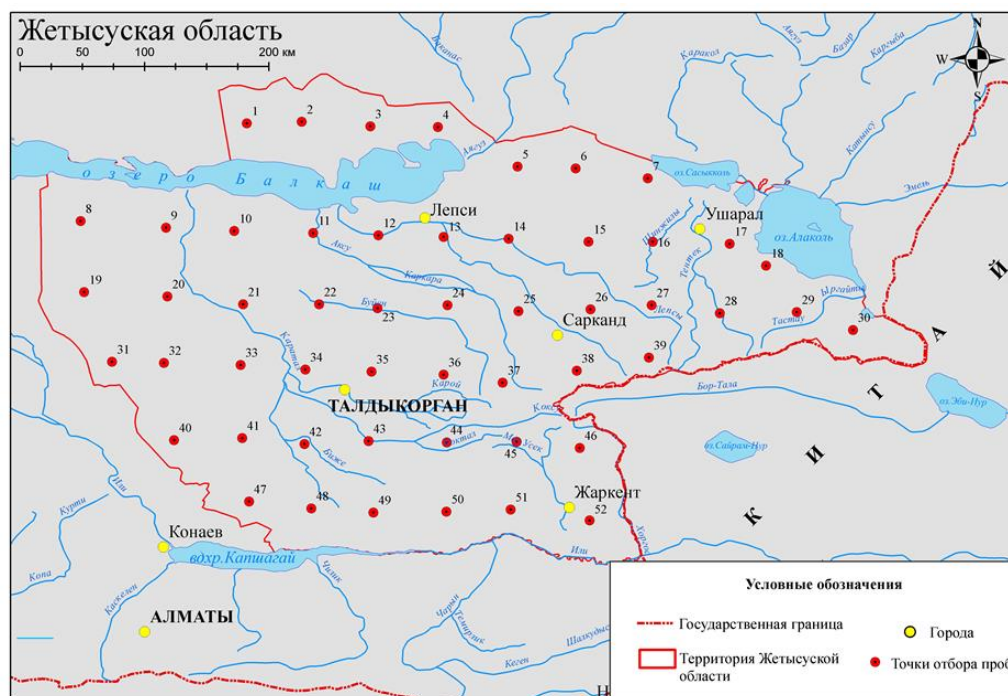


Рисунок 1. Карта-схема с точками отбора проб почвенного покрова Жетысуской области на территории РК

С учетом особенностей распределения стойких органических загрязнителей, к которым относятся ПХБ, отбор точечных проб проводился из поверхностного слоя почвы с глубины 0...5 см, наиболее подверженного воздействию атмосферных загрязнений и антропогенных факторов. Масса каждой точечной пробы составляла до 200 г. Объединенная проба формировалась путем тщательного смешивания точечных проб, отобранных на одной площадке. Масса объединенной пробы составляла не менее 1 кг. При проведении пробоотбора особое внимание уделялось предотвращению вторичного загрязнения образцов на всех этапах отбора, транспортировки и хранения.

Подготовка почвенных образцов

Подготовка почвенных образцов проводилась в лабораторных условиях в соответствии со стандартными методиками подготовки проб для химического анализа. Образцы высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, после чего очищали от посторонних включений (камней, растительных остатков и других инородных частиц). Крупные почвенные агрегаты разрушали механическим способом. Для получения аналитической пробы применяли метод квартования. Почву тщательно перемешивали, измельчали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Из подготовленной воздушно-сухой почвы отбирали навеску массой около 5 г для дальнейшего токсикологического анализа. Подготовленные образцы хранили в стеклянной таре в сухом помещении до проведения анализа.

Экстракция полихлорированных бифенилов

Выделение ПХБ из почвенных образцов проводили методом экстракции органическим растворителем. В качестве экстрагента использовали п-гексан, обладающий высокой растворяющей способностью по отношению к хлорорганическим соединениям. Навеску почвы подвергали экстракции органическим растворителем с последующим отделением жидкой фазы и концентрированием экстракта. Полученный экстракт подвергали очистке для удаления сопутствующих органических соединений и матричных компонентов.

Анализ образцов проводился в аккредитованной испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» Казахской академии питания (аттестат аккредитации № KZ.T.02.E0177 от 06.05.2021 г.).

Газохроматографическое определение полихлорированных бифенилов

Определение содержания ПХБ проводили методом газовой хроматографии с электронно-захватным детектором (ГХ-ЭЗД). Газохроматографический анализ выполнялся в соответствии с требованиями стандарта СТБ ИСО 6468-2003 «Качество воды» [13]. Определение некоторых хлорорганических инсектицидов, ПХБ и хлорбензолов методом газовой хроматографии после экстракции жидкость–жидкость». Анализ проводился на газовом хроматографе «Хромос ГХ-1000» (Россия) с использованием специализированного программного обеспечения. Для разделения соединений применяли капиллярные хроматографические колонки длиной 30 м с внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной неподвижной фазы 0,25 мкм (DB-1, DB-5 или DB-1701).

Основные параметры хроматографического анализа включали:

- температура инжектора – 280 °С;
- газ-носитель – гелий или азот со скоростью около 25 см/с;
- вспомогательный газ (аргон/метан 95/5 или азот) с постоянным потоком 40 см³/мин;
- режим ввода пробы – split 10:1;
- температурная программа: 80 °С (изотерма 8 мин), далее повышение температуры со скоростью 6 °С/мин до 250 °С с последующей изотермой 20 мин;
- объем вводимой пробы – 1 мкл.

Для оценки точности определения полихлорированных бифенилов (ПХБ) в водных пробах в работе были использованы метрологические характеристики, регламентированные нормативным документом ПНД Ф 14.1:2:3:4.204-04 «Методика измерений массовых концентраций хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии». Согласно указанной методике, применяемый газохроматографический метод обеспечивает получение результатов измерений с показателями точности, воспроизводимости и повторяемости, не превышающими значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Диапазон измерений, значения показателей точности, воспроизводимости и повторяемости при определении полихлорированных бифенилов

Диапазоны измерений, мг/кг	Показатель повторяемости (относительное среднеквадратическое отклонение повторяемости) σ_R , %	Показатель воспроизводимости (относительное среднеквадратическое отклонение воспроизводимости) δ_R , %	Показатель точности (границы относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95), $\pm\delta$, %
от 0,00001 до 0,0001 включ.	21	30	60
св. 0,0001 до 0,001 включ.	18	25	50
св. 0,001 до 0,05 включ.	12	17,5	35

Таким образом, представленные метрологические характеристики подтверждают возможность получения достоверных результатов при определении массовых концентраций ПХБ в пробах природных вод. Учет показателей точности, повторяемости и воспроизводимости позволяет оценить надежность аналитических данных и снизить влияние возможных инструментальных и методических погрешностей.

Калибровка и идентификация соединений

Для калибровки и идентификации соединений использовали государственный стандартный образец состава раствора Совола в гексане, содержащий смесь характерных конгенов: ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-138, ПХБ-153, а также сумму тетра-, пента- и гексахлорбифенилов. В ходе анализа определяли массовые концентрации индикаторных конгенов: ПХБ-28, ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-118, ПХБ-138, ПХБ-153, ПХБ-180 и ПХБ-194.

Идентификацию соединений проводили по времени удерживания, а количественное определение выполняли по площади хроматографических пиков методом абсолютной градуировки. Суммарное содержание ПХБ рассчитывали, как сумму концентраций отдельных определяемых конгенов

Контроль качества анализа

Контроль качества аналитических измерений обеспечивался проведением холостых проб, использованием стандартных образцов и повторным анализом части исследуемых проб. Для количественного анализа применяли калибровочные растворы стандартных смесей конгенов ПХБ. Аналитическое определение содержания ПХБ в почвенных пробах проводилось в трехкратной повторности для каждой исследуемой пробы. Полученные параллельные результаты использовались для оценки воспроизводимости аналитических измерений и снижения влияния случайной погрешности. При обработке данных учитывались сопоставимость параллельных измерений, стабильность аналитического сигнала и соответствие результатов требованиям лабораторного контроля качества.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что ПХБ присутствуют во всех исследованных образцах, отобранных на территории области. Данный анализ полученных данных выявил о широком распространении ПХБ в пределах региона и указывает на то, что даже при отсутствии крупных очевидных очагов загрязнения почвенный покров области испытывает фоновое или диффузное воздействие стойких органических загрязнителей.

В 2024 г. суммарное содержание ПХБ варьировало в широких пределах – от 0,010 до 1,631 мкг/кг, что отражает выраженную пространственную неоднородность загрязнения. Общая характеристика концентрации и конгенерного состава ПХБ в почвах различных природных зон представлена в таблице 2.

Таблица 2
Общая характеристика концентрации и конгенерного состава ПХБ почвенного покрова изученной территории в 2024 г.

Природные зоны	№ точек отбора проб	Конгены ПХБ	Сумма ПХБ, мкг/кг	
			пределы	среднее
Горные районы (восток и юг, предгорья и горы)	29, 30, 36...38, 46, 50...52		0,016...1,042	0,259
Равнинные зоны (центральная и северо-восточная часть, ближе к озеру Алаколь и рекам)	11...18, 21...28, 35, 39	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;	0,017...0,308	0,050
Пустынные и полупустынные зоны (западная часть, более удаленная от водоемов)	1...8, 19, 20, 31...33, 40, 41, 47...49	153; 155; 171	0,010...0,524	0,085
Урбанизированные территории (вокруг городов)	34, 42...45, 52		0,031...1,631	0,531

Как видно из данных таблицы 2, содержание ПХБ в почвах различных природных зон области существенно различается. Минимальные концентрации ПХБ характерны для территорий с низкой антропогенной нагрузкой, удаленных от крупных населенных пунктов и промышленных объектов. К таким территориям относятся прежде всего пустынные и полупустынные районы западной части области, где суммарная концентрация ПХБ изменялась в пределах 0,010...0,524 мкг/кг при среднем значении 0,085 мкг/кг.

Сравнительно невысоким содержанием токсиканта характеризуется почвенный покров равнинной зоны, расположенной в центральной и северо-восточной части исследуемой территории вблизи озера Алаколь и речных долин.

Суммарные значения концентрации ПХБ здесь преимущественно находились в интервале 0,017...0,037 мкг/кг, а среднее значение составило 0,050 мкг/кг. В отдельных точках данной зоны отмечены повышенные значения, достигающие 0,308 и 0,149 мкг/кг, что указывает на локальные участки накопления загрязнителя.

Более высокие концентрации зарегистрированы в почвах предгорной зоны. В этих районах содержание ПХБ достигало 1,042 мкг/кг при среднем значении 0,259 мкг/кг. Наиболее высокие суммарные концентрации токсиканта выявлены в почвах урбанизированных территорий, расположенных вблизи крупных населенных пунктов. Так, в районе г. Талдыкоргана содержание ПХБ в почвах достигало 1,130 и 1,631 мкг/кг, в районе г. Конаева – 0,454 мкг/кг, а в районе Жаркента – 0,637 мкг/кг. Средняя концентрация ПХБ в почвах урбанизированной зоны составила 0,531 мкг/кг.

Полученные результаты подтверждают, что уровень загрязнения поллютантами существенно зависит от степени антропогенной нагрузки. Подобная закономерность распределения ПХБ отмечается во многих регионах мира и объясняется сочетанием локальных источников загрязнения и процессов атмосферного переноса данных соединений.

Пространственное распределение суммарных концентраций ПХБ в почвенном покрове территории области наглядно представлено на рисунке 2.

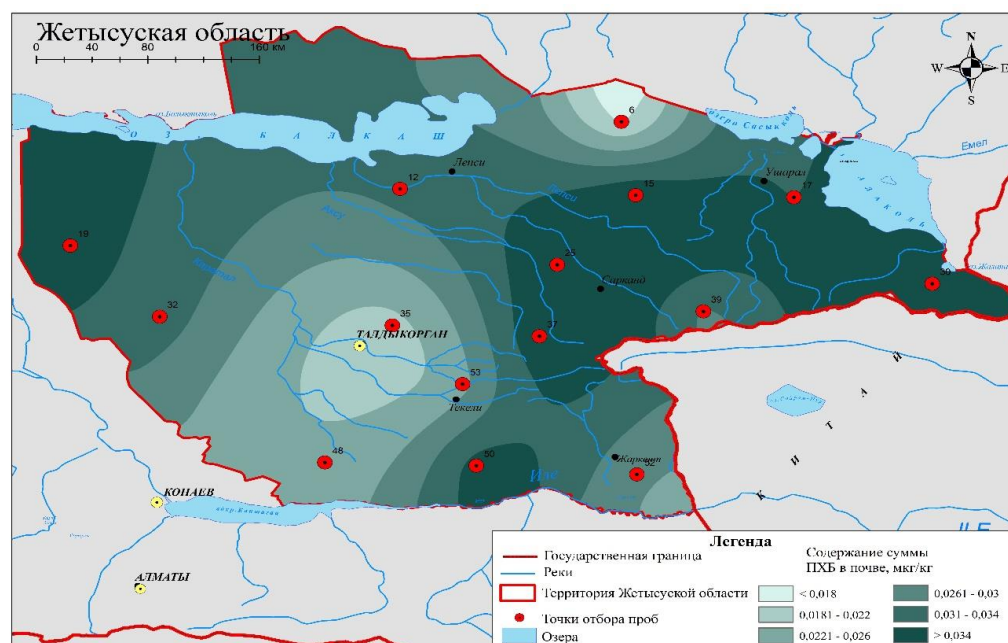


Рисунок 2. Точки отбора проб ПХБ в области Жетысу на территории РК

Как видно из рисунка 2, наиболее высокие значения содержания ПХБ приурочены к урбанизированным и предгорным территориям, тогда как в пустынных, полупустынных и значительной части равнинных районов фиксируются более низкие концентрации.

Карта наглядно подтверждает выраженную пространственную неоднородность распределения загрязнителя и позволяет выделить участки с повышенной антропогенной нагрузкой. В то же время отсутствие сплошных зон экстремально высоких значений указывает на преимущественно рассеянный характер загрязнения почвенной среды региона.

Почвенная среда является одним из основных депонирующих компонентов природных экосистем для стойких органических загрязнителей. Благодаря высокой гидрофобности и устойчивости к биологическому разложению ПХБ способны сорбироваться органическим веществом почв и сохраняться в поверхностных горизонтах на протяжении длительного времени [14]. При этом даже удаленные территории могут подвергаться загрязнению вследствие дальнего атмосферного переноса данных соединений, что неоднократно отмечалось в исследованиях различных регионов мира [3].

В образцах почв, подвергнутых хроматографическому анализу, идентифицировано в общей сложности 32 индивидуальных конгенера ПХБ, относящихся к гомологическим группам от тетрахлорбифенилов до гептахлорбифенилов. Встречаемость отдельных конгенов в анализируемых пробах существенно различалась. Наиболее высокая встречаемость (69 %) принадлежала конгенеру ПХБ 97, относящемуся к гомологической группе пентахлорбифенилов. Повышение суммарной концентрации ПХБ в отдельных почвенных пробах выше 0,454 мкг/кг было связано преимущественно с увеличением содержания данного конгенера.

Относительная доля конгенов ПХБ 52 и ПХБ 146, относящихся к гомологическим группам тетра- и гексахлорбифенилов, в отдельных образцах достигала соответственно 56 и 63 %. Широкое распространение конгенера ПХБ 97 в составе почвенного покрова предгорной и равнинной части Северного склона Иле Алатау также отмечалось в наших предыдущих исследованиях территории Алматинской агломерации [15]. В почвах г. Алматы и ряда прилегающих населенных пунктов данный конгенер также регистрировался в повышенных концентрациях.

Особый интерес представляет анализ присутствия среди конгенов ПХБ соединений, обладающих повышенной токсичностью, к которым относятся так называемые «маркерные» и диоксиноподобные изомеры. Их абсолютное и относительное содержание в почвенном покрове изученной территории приведено в таблице 3.

Таблица 3

Абсолютное и относительное содержание "маркерных" и диоксиноподобных конгенов в почвенном покрове

Показатели	"маркерные"				диоксиноподобные		
	ПХБ 52	ПХБ 101	ПХБ 138	ПХБ 153	ПХБ 105	ПХБ 114	ПХБ 118/
Концентрация, мкг/кг	0,002...0,099	0,002...0,003	0,002...0,040	0,002...0,005	0,002...0,004	0,002...0,004	0,002...0,1 68
%	4...66	1...19	0,3...18	0,3...16	0,1...16	1...17	2...46

Как следует из данных таблицы 3, концентрации «маркерных» и диоксиноподобных конгенов имеют близкий порядок величин. Абсолютное содержание «маркерных» конгенов изменялось в интервале 0,002...0,099 мкг/кг, тогда как диоксиноподобных — от 0,002 до 0,168 мкг/кг. Относительная доля «маркерных» конгенов ПХБ 52, 101, 138 и 153 варьировала преимущественно в пределах от 0,3 до 66 %, тогда как для диоксиноподобных конгенов ПХБ 105, 114 и 118 соответствующие значения составляли от 0,1 до 46 %.

Результаты исследования показывают, что даже при относительно невысоком суммарном содержании ПХБ в почвах региона присутствуют токсикологически значимые конгенеры, которые могут оказывать влияние на экологическое состояние природных экосистем.

С учетом результатов, полученных в 2024 г., в 2025 г. отбор почвенных проб проводился на наиболее репрезентативных точках, расположенных в различных природных зонах территории области. Анализ показал, что, как и в предыдущем году, ПХБ зарегистрированы во всех исследованных образцах почв. Однако диапазон концентраций в 2025 г. оказался значительно более узким и составил от 0,018 до 0,045 мкг/кг. Результаты анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4
Общая характеристика уровня загрязненности ПХБ почв

Место отбора проб	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/кг
6 точка		0,018
12 точка		0,031
15 точка		0,037
17 точка		0,034
19 точка		0,035
25 точка		0,037
30 точка	40; 41,64,71; 42; 44; 48; 49; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86; 87,115;	0,045
32 точка	97; 101; 105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137; 138; 141; 146;	0,032
35 точка	151; 153; 155; 171	0,021
37 точка		0,037
39 точка		0,030
48 точка		0,023
50 точка		0,035
52 точка		0,027
53 точка		0,025

Результаты исследования показывают о том, что в 2025 г. концентрации ПХБ в почвах исследуемой территории характеризуются значительно меньшей вариабельностью по сравнению с предыдущим годом. Пустынные и полупустынные территории, где расположены точки №6, 19, 32 и 48, характеризуются сравнительно низким содержанием токсиканта в пределах 0,018...0,035 мкг/кг. В почвах горной зоны концентрации ПХБ изменялись в интервале 0,027...0,045 мкг/кг, тогда как в равнинной зоне значения находились в диапазоне 0,021...0,037 мкг/кг. Близкие уровни содержания токсиканта зарегистрированы и в почвах урбанизированных территорий.

В образцах почв 2025 г. также идентифицировано 32 индивидуальных конгенера. Встречаемость отдельных конгенеров варьировала от 2 до 41 %. Наиболее высокая встречаемость (41 %) принадлежала легкому конгенеру ПХБ 44, относящемуся к гомологической группе тетрахлорбифенилов. Среди «маркерных» соединений наиболее часто обнаруживался конгенер ПХБ 153, встречаемость которого достигала 26 %. Концентрации «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в почвенной среде исследуемой территории представлены в таблице 5.

Таблица 5
Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в почвенном покрове

Точки отбора проб	Сумма ПХБ, мкг/кг	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	%
6 точка	0,018					0,003	18	0,002	10						
12 точка	0,031					0,003	11								
15 точка	0,037							0,009	26						
17 точка	0,034			0,004	12									0,003	9
19 точка	0,035			0,002	6	0,005	13	0,003	7					0,002	6
25 точка	0,037					0,006	15	0,002	5	0,002	6				

30 точка	0,045			0,007	16	0,002	4			0,002	4		
32 точка	0,032	0,004	11					0,006	19				
35 точка	0,021												
37 точка	0,037	0,003	8			0,003	7	0,004	11			0,002	5
39 точка	0,030									0,005	17	0,003	9
48 точка	0,023	0,002	8	0,004	16			0,002	8				
50 точка	0,035					0,002	5	0,003	8	0,002	5	0,003	9
52 точка	0,027	0,003	12			0,002	7	0,002	6			0,003	8
53 точка	0,025					0,003	14						

Как следует из данных таблицы 5, абсолютное содержание «маркерных» конгенеров в 2025 г. изменялось в интервале от 0,002 до 0,009 мкг/кг, тогда как концентрации диоксиноподобных соединений составляли 0,002...0,005 мкг/кг. Относительная доля «маркерных» конгенеров ПХБ 52, 101, 138 и 153 варьировала в пределах 4...26 %, а для диоксиноподобных конгенеров ПХБ 105, 114 и 118 соответствующие значения составляли 4...17 %.

Следует отметить, что в ряде проб «маркерные» и диоксиноподобные конгенеры либо отсутствовали, либо определялись в очень низких концентрациях. В частности, «маркерные» конгенеры не обнаружены в пробах, отобранных на точках № 35 и № 39, а диоксиноподобные конгенеры отсутствовали в нескольких образцах из равнинных и пустынных зон. Это свидетельствует о сравнительно низкой токсикологической нагрузке почвенного слоя исследуемой территории.

Сопоставление результатов 2024 и 2025 гг. показало, что во второй год наблюдений отмечено значительное снижение суммарных концентраций ПХБ и уменьшение доли высокотоксичных конгенеров. Подобные изменения могут быть обусловлены совокупным влиянием природных и антропогенных факторов, включая особенности атмосферного переноса загрязняющих веществ, процессы их миграции в почвенном профиле, а также пространственную неоднородность распределения загрязнителей.

При сравнении полученных результатов с литературными данными следует отметить, что уровни загрязнения почв области в целом значительно ниже, чем в известных зонах сильного техногенного воздействия. Согласно данным зарубежных исследований, концентрации ПХБ в почвах ряда европейских стран могут достигать 2...40 мкг/кг [4,16,17], тогда как в почвах Санкт-Петербурга средний уровень загрязнения составляет около 40 мкг/кг [18]. В почвах отдельных районов Башкирии содержание загрязнителей изменялось в пределах 0,01...0,07 мкг/кг [19]. Также исследования показывают, что ПХБ способны длительно сохраняться в почвенной среде и накапливаться преимущественно в районах с высокой антропогенной нагрузкой. Так, в исследованиях почв промышленных территорий Колумбии и Испании содержание диоксиноподобных ПХБ варьировало от 0,00003 до 1,61 мкг/кг и от 0,00006 до 0,19 мкг/кг соответственно, при этом наиболее высокие концентрации были характерны для урбанизированных и промышленных зон [20].

По результатам наших предыдущих исследований территории Алматинской агломерации [15] максимальные значения суммарной концентрации ПХБ в почвах городских территорий достигали 18,4...18,9 мкг/кг, тогда как в почвенном покрове отдельных населенных пунктов этот показатель составлял до 13,7 мкг/кг. В почвах дельты р. Иле суммарное содержание ПХБ в ряде случаев достигало 18,4...35 и 25...80 мкг/кг. На этом фоне почвы области характеризуются в целом более низким уровнем загрязнения.

В целом установленные результаты подтверждают присутствие ПХБ в почвенном покрове всей исследованной территории при сравнительно невысоком уровне загрязнения. Выявлена существенная пространственная изменчивость содержания ПХБ,

обусловленная сочетанием природных условий и антропогенного воздействия. Одной из характерных особенностей является относительно низкая концентрация токсиканта в 2025 г. (0,018...0,045 мкг/кг) по сравнению с 2024 г., когда максимальные значения достигали 1,631 мкг/кг. Дополнительной особенностью является снижение доли высокотоксичных диоксиноподобных и «маркерных» конгенов.

Совокупность этих факторов позволяет сделать вывод о том, что в изученный период почвенный покров области характеризуется относительно невысокой токсичностью по отношению к ПХБ, хотя присутствие данных соединений во всех исследованных образцах указывает на необходимость дальнейшего мониторинга их содержания в природных средах региона.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило получить обобщенную характеристику загрязнения почв области Жетысу полихлорированными бифенилами (ПХБ) и выявить особенности их пространственного распределения в различных природно-ландшафтных зонах региона. Установлено присутствие ПХБ во всех исследованных образцах почв, что то позволяет сделать вывод о региональном распространении данных стойких органических загрязнителей.

Наиболее высокие концентрации ПХБ выявлены в почвах урбанизированных и предгорных территорий, тогда как в пустынных и равнинных районах их содержание значительно ниже. Полученные результаты указывают на существенное влияние антропогенных факторов на формирование пространственной структуры загрязнения почвенной среды.

В ходе хроматографического анализа в почвенных образцах идентифицировано 32 индивидуальных конгенера ПХБ, относящихся к гомологическим группам от тетрахло- до гептахлорбифенилов, включая индикаторные и диоксиноподобные соединения. Сравнение результатов исследований 2024 и 2025 гг. показало снижение суммарных концентраций ПХБ и уменьшение доли токсикологически значимых конгенов во второй год наблюдений.

В целом уровни загрязнения почв области Жетысу ПХБ остаются ниже по сравнению с промышленными регионами Казахстана и рядом зарубежных территорий. Вместе с тем повсеместное присутствие ПХБ подтверждает необходимость дальнейшего экологического мониторинга стойких органических загрязнителей в природных средах региона.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В данном исследовании использованы опубликованные научные данные отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам загрязнения почвенного покрова стойкими органическими загрязнителями. При анализе состояния почвенного покрова области Жетысу использованы материалы научных публикаций, фондовые и справочные источники, соответствующие тематике исследования. Статья подготовлена на основе анализа научной литературы, а также результатов собственных исследований авторов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – НАА; создание программного обеспечения – НАА; подготовка и редактирование текста – НАА; проведение исследования – ЛТИ; разработка методологии – АСМ; проведение статистического анализа – АМ; Проведение исследований, визуализация – БМС, АӨЖ; ресурсы – АЭС.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23488902 «Экосистемная устойчивость Жетысуской области: геоэкологический анализ депонирующих сред и рекомендации для устойчивого развития»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones K.C., de Voogt P. Persistent organic pollutants (POPs): state of the science // *Environmental Pollution*. – 1999. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00098-6)
2. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. – Стокгольм, 2001. – 53 с.
3. Breivik K., Sweetman A., Pacyna J., Jones K. Towards a global historical emission inventory for selected ПХБ congeners // *Science of the Total Environment*. – 2007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.02.026>
4. Meijer, S. N., Ockenden, W. A., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J. O., & Jones, K. C. Global distribution and budget of ПХБs and HCB in background surface soils: implications for sources and environmental processes // *Environmental science & technology*. – 2003. – 37(4), 667–672. <https://doi.org/10.1021/es025809l>
5. Kumari S., Agrawal M., Tiwari S. Impact of elevated CO₂ and elevated O₃ on *Beta vulgaris* L.: Pigments, metabolites, antioxidants, growth and yield // *Environmental Pollution*. – 2013. – Vol. 174. – P. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.021>. (in English).
6. Measures, C. I., Vink S. On the use of dissolved aluminum in surface waters to estimate dust deposition to the ocean. // *Global Biogeochem. Cycles*. – 2000. 14(1), 317–327, doi:10.1029/1999GB001188.
7. Ishankulov M.Sh. ПХБ-contaminated areas in Kazakhstan and analysis of ПХБ impact on human health experience // *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment*. – Springer: AK/NATO Publishing Unit, 2008. – P. 387–403.
8. Амиргалиев Н. А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле-Балкашского бассейна. - Алматы: ТОО Нурай Принт Сервис, 2016. - 192 с.
9. Amirgaliev N., Medeu A., Opp C., Madibekov A., Ismukhanova L., Zhadi A. Monitoring of Polychlorinated Biphenyls in the Transboundary Ile River and Characteristics of Its Transformations Along the River's Discharge // *Applied Sciences*. – 2025. – Vol.15., 10872. <https://doi.org/10.3390/app152010872>
10. Amirgaliev N., Ismukhanova L., Madibekov A., Sultanbekova B., Sultanayeva A. Monitoring the level of polychlorinated biphenyls pollution in the Ile River falls // *News of the national academy of sciences of the RK. Series of Geology and technical science*. – 2025. – Vol. 6, N 474. – P. 32-46. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.569>
11. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Москва: Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.
12. СТ РК ИСО 14507-2010. Охрана природы. Качество почвы. Подготовка образцов к определению содержания органических загрязняющих веществ. – Введ. 2012–01–01. – Астана : Комитет технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан, 2010. – 42 с.
13. СТБ ИСО 6468-2003. Качество воды. Определение некоторых хлорорганических инсектицидов, полихлорированных бифенилов и хлорбензолов методом газовой хроматографии после экстракции жидкость–жидкость (ISO 6468:1996, IDT). – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2003. – 31 с.
14. Panagos P., Van Liedekerke M., Yigini Y., Montanarella L. Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network // *Journal of Environmental and Public Health*. – 2013. – Article ID 158764. – 11 p. <https://doi.org/10.1155/2013/158764>
15. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Исмукханова Л.Т., Мусақұлызы А., Кулбекова Р.А., Жади А.О. Токсичные соединения в снежном покрове и их влияние на природные объекты урбанизированных территорий (на примере Алматинской агломерации) – Алматы: Қазақ университеті, 2021. 12,56 п.л., (200 с.)
16. Кухаркин 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.
17. Dioxins & PSBs: environmental levels and human exposure in candidate countries. ENV.C.2/SER/2002/0085. Final report. – Brussels, 2004. – 333 p.
18. Андреев В. Г., Баев А. С. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 1998 году. – СПб., 1999. – 542 с.
19. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.В., Шамсутдинова Л.Р., Саитова Л.Р., Хакимова А.А. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах промышленного, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015. – Т. 17, № 5-1. – С. 9-15.
20. Lacombe I., Palomares-Bolaños J., Juan-García A., et al. Levels and risk assessment of dl-ПХБs and dioxins in soils surrounded by cement plants from industrial areas of Colombia and Spain // *Emerging Contaminants*. – 2025. – Vol. 11, Issue 1. – Art. 100427. – ISSN 2405-6650. – <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100427>

REFERENCES

1. Jones, K.C., de Voogt, P. (1999). Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental Pollution*. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00098-6)
2. Stokgol'mskaya konventsiya o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh (2001) [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants]. 53 p. [in Russian].
3. Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J., Jones, K. (2007). Towards a global historical emission inventory for selected ПХБ congeners. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.02.026>
4. Meijer, S.N., Ockenden, W.A., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J.O., Jones, K.C. (2003). Global distribution and budget of ПХБs and HCB in background surface soils: implications for sources and environmental processes. *Environmental Science & Technology*, vol. 37, no. 4, pp. 667–672. <https://doi.org/10.1021/es025809l>
5. Kumari, S., Agrawal, M., Tiwari, S. (2013). Impact of elevated CO₂ and elevated O₃ on *Beta vulgaris* L.: pigments, metabolites, antioxidants, growth and yield. *Environmental Pollution*, vol. 174, pp. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.021>
6. Measures, C.I., Vink, S. (2000). On the use of dissolved aluminum in surface waters to estimate dust deposition to the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 14, no. 1, pp. 317–327. <https://doi.org/10.1029/1999GB001188>
7. Ishankulov, M.Sh. (2008). PKhB-contaminated areas in Kazakhstan and analysis of PKhB impact on human health experience. In: *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment*. Springer: AK/NATO Publishing Unit, pp. 387–403.
8. Amirgaliev, N.A. (2016). Polikhlorirovannyye bifenily v vodnoi ekosisteme Ile-Balkhashskogo basseina [Polychlorinated biphenyls in the aquatic ecosystem of the Ile-Balkhash basin]. *Almaty: TОО “Nuray Print Servis”*, 192 p. [in Russian].
9. Amirgaliev, N., Medeu, A., Opp, C., Madibekov, A., Ismukhanova, L., Zhadi, A. (2025). Monitoring of polychlorinated biphenyls in the transboundary Ile River and characteristics of its transformations along the river's discharge. *Applied Sciences*, vol. 15, 10872. <https://doi.org/10.3390/app152010872>

10. Amirgaliev, N., Ismukhanova, L., Madibekov, A., Sultanbekova, B., Sultanayeva, A. (2025). Monitoring the level of polychlorinated biphenyls pollution in the Ile River falls. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, vol. 6, no. 474, pp. 32–46. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.569>. [in Russian].
11. GOST 17.4.3.01–83. (2004). Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob [Environmental protection. Soils. General requirements for sampling]. Izdatel'stvo standartov. [in Russian].
12. ST RK ISO 14507-2010. (2010). Okhrana prirody. Kachestvo pochvy. Podgotovka obraztsov k opredeleniyu sodержaniya organicheskikh zagryaznyayushchikh veshchestv [Environmental protection. Soil quality. Pretreatment of soil samples for determination of organic contaminants]. Komitet tekhnicheskogo regulirovaniya i metrologii Ministerstva industrii i novykh tekhnologiy Respubliki Kazakhstan. [in Russian].
13. STB ISO 6468-2003. (2003). Kachestvo vody. Opredelenie nekotorykh khlororganicheskikh insektitsidov, polikhlorirovannykh bifenilov i khlorbenzolov metodom gazovoy khromatografii posle ekstraktsii zhidkost–zhidkost (ISO 6468:1996, IDT) [Water quality. Determination of certain organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls and chlorobenzenes by gas chromatography after liquid–liquid extraction]. Gosstandart Respubliki Belarus. [in Russian].
14. Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., Montanarella, L. (2013). Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network. Journal of Environmental and Public Health, Article ID 158764, 11 p. <https://doi.org/10.1155/2013/158764>
15. Amirgaliev, N.A., Madibekov, A.S., Ismukhanova, L.T., Musakulkyzy, A., Kulbekova, R.A., Zhadi, A.O. (2021). Toksichnye soedineniya v snezhnom pokrove i ikh vliyaniye na prirodnye ob'ekty urbanizirovannykh territorii (na primere Almatinskoi aglomeratsii) [Toxic compounds in snow cover and their impact on natural objects of urbanized territories (on the example of the Almaty agglomeration)]. Almaty: Kazakh University, 200 p. [in Russian].
16. Kukharkin, T.I., Kakareka, S.V., Khomich, V.S., Kurman, P.V., Voropai, E.N. (2007). Polikhlorirovannye bifenily v pochvakh Belorussii: istochniki, urovni zagryazneniya, problemy izucheniya [Polychlorinated biphenyls in soils of Belarus: sources, contamination levels, and research problems]. Pochvovedenie, no. 5, pp. 532–540 [in Russian].
17. Dioxins & PKhBs: environmental levels and human exposure in candidate countries (2004). ENV.C.2/SER/2002/0085. Final report. Brussels, 333 p.
18. Andreev, V.G., Baev, A.S. (1999). Okhrana okruzhayushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 1998 godu [Environmental protection, natural resource management and ensuring environmental safety in Saint Petersburg in 1998]. Saint Petersburg, 542 p. [in Russian].
19. Amirova, Z.K., Belan, L.N., Valiullina, A.U., Shamsutdinova, L.R., Saitova, L.R., Khakimova, A.A. (2015). Monitoring stoikikh organicheskikh soedinenii i poliaromaticheskikh uglevodorodov v pochvakh industrial'nogo, rekreatsionnogo i selitebnogo naznacheniya goroda Ufy [Monitoring of persistent organic compounds and polyaromatic hydrocarbons in soils of industrial, recreational and residential areas of the city of Ufa]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk, vol. 17, no. 5-1, pp. 9–15 [in Russian].
20. Lacombe, I., Palomares-Bolaños, J., Juan-García, A., et al. (2025). Levels and risk assessment of dl-PKhBs and dioxins in soils surrounded by cement plants from industrial areas of Colombia and Spain. Emerging Contaminants, 11(1), Article 100427. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100427>

ЖЕТІСУ ОБЛЫСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ПОЛИХЛОРЛАНҒАН БИФЕНИЛДЕРМЕН ЛАСТАНУЫН БАҒАЛАУ

Нариман А. Әміргалиев¹ г.ғ.д., профессор, Азамат С. Мадібеков^{1,2} PhD, қауымдастырылған профессор, Лаура Т. Исмуханова^{1,2} PhD, Айнұр Мұсақұлқызы¹ т.ғ.к., Ботакөз М. Султанбекова^{1,2}, Асхат Ә. Жәди¹, Арай Ә. Сұлтанәева^{*1,2}

¹ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы қ., Қазақстан; namirgaliev@mail.ru, madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, mus_ain@mail.ru, sultanbekova_botakoz@mail.ru, askhat.zhadi@mail.ru, arai1104@mail.ru

² Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан; madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, sultanbekova_botakoz@mail.ru, arai1104@mail.ru

*Автор корреспонденция: Арай Ә. Сұлтанәева, arai1104@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

тұрақты органикалық
ластаушылар, полихлорланған
бифенилдер, конгенерлер,
топырақ жамылғысы

АБСТРАКТ

Мақалада Қазақстан Республикасының Жетісу облысының топырақ жамылғысының полихлорланған бифенилдермен (ПХБ) ластануын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Топырақ үлгілерін іріктеу 2024...2025 жж. өңірдің әртүрлі табиғи-ландшафттық аймақтарында орналасқан 52 бақылау нүктесінде жүргізілді. ПХБ мөлшерін талдау нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес электронды-қармау детекторы бар газдық хроматография әдісімен орындалды. Зерттелген топырақ үлгілерінің барлығында полихлорланған бифенилдердің болуы анықталды. ПХБ-ның жиынтық концентрациялары 0,010-нан 1,631 мкг/кг аралығында өзгерді. Жеке конгенерлердің айтарлықтай алуан түрлілігі, соның ішінде индикаторлық («маркерлік») және диоксинге ұқсас қосылыстар анықталды. Ластаушының ең жоғары концентрациялары урбандалған аумақтардың топырақтарында тіркелді. 2024 және 2025 жылдардағы зерттеу нәтижелерін салыстырмалы талдау 2025

Мақала жайында:

Алынды: 18.03.2026

Қайта қаралды: 08.06.2026

Қабылданды: 28.07.2026

Жарияланды: 01.10.2026

жылы ПХБ мөлшерінің айтарлықтай төмендегенін көрсетті. Бұл құбылыс сынама алу маусымының ерекшеліктерімен, ластаушы заттардың топырақ профилі бойынша қайта таралуымен және олардың кеңістіктік таралуының әркелкілігімен байланысты болуы мүмкін.

Алынған нәтижелер өңір топырақ жамылғысының полихлорланған бифенилдермен ластану деңгейі салыстырмалы түрде төмен екенін көрсетеді және оларды Қазақстан Республикасының Стокгольм конвенциясы бойынша халықаралық міндеттемелерін орындау шеңберінде тұрақты органикалық ластаушылардың экологиялық мониторингін ұйымдастыру кезінде пайдалануға болады.

ASSESSMENT OF SOIL COVER CONTAMINATION BY POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE ZHETYSU REGION

Nariman Amirgaliyev¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor, Azamat Madibekov^{1,2} PhD, Associate Professor, Laura Ismukhanova^{1,2} PhD, Ainur Mussakulkyzy¹ Candidate of Technical Sciences, Botakoz Sultanbekova^{1,2}, Askhat Zhadi¹, Aray Sultanayeva*^{1,2}

¹ JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan namirgaliyev@mail.ru, madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, mus_ain@mail.ru, sultanbekova_botakoz@mail.ru, askhat.zhadi@mail.ru, arai1104@mail.ru

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, sultanbekova_botakoz@mail.ru, arai1104@mail.ru

* Corresponding author: Aray Sultanayeva, arai1104@mail.ru

KEY WORDS

persistent organic pollutants,
polychlorinated biphenyls,
congeners, soil cover

ABSTRACT

The article presents the results of a study on the contamination of the soil cover of the Zhetysu Region of the Republic of Kazakhstan by polychlorinated biphenyls (ПХБs). Soil samples were collected in 2024...2025 at 52 monitoring sites located in different natural and landscape zones of the region. The ПХБ content was analyzed using gas chromatography with an electron capture detector in accordance with the requirements of regulatory documents.

The presence of polychlorinated biphenyls was detected in all studied soil samples. The total ПХБ concentrations ranged from 0.010 to 1.631 µg/kg. A significant diversity of individual congeners was identified, including indicator ("marker") and dioxin-like compounds. The highest concentrations of the pollutant were recorded in soils of urbanized areas.

A comparative analysis of the research results for 2024 and 2025 showed a noticeable decrease in ПХБ concentrations in 2025. This may be associated with seasonal features of sampling, redistribution of pollutants within the soil profile, and spatial heterogeneity of their distribution.

The obtained results indicate a relatively low level of soil contamination in the region by polychlorinated biphenyls and can be used in organizing environmental monitoring of persistent organic pollutants within the framework of the Republic of Kazakhstan's implementation of its international obligations under the Stockholm Convention.

About article:

Received: 18.03.2026

Revised: 08.06.2026

Accepted: 28.07.2026

Published: 01.10.2026

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).