



Гидрометеорология и экология

Научная статья

МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК

Нариман А. Амиргалиев¹ академик КазНАЕН, д.г.н., профессор, Кажмурат М. Ахмеденов² к.г.н., профессор, Азамат С. Мадибеков^{1,3} PhD, ассоциированный профессор, Лаура Т. Исмуханова^{1,3} PhD, Асхат Θ. Жәди¹ , Арай Θ. Сұлтанаева^{*1,3}

¹ АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; namirgaliev@mail.ru (НАА), madibekov@mail.ru (АСМ), l-aura@bk.ru (ЛТИ), askhat.zhadi@mail.ru (АӨЖ), arai1104@mail.ru (АЭС)

² НАО «Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Утемисова», Уральск, Казахстан; kazhmurat78@mail.ru (КМА)

³ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; madibekov@mail.ru (АСМ), l-aura@bk.ru (ЛТИ), arai1104@mail.ru (АЭС)

*Автор корреспондент: Арай Θ. Сұлтанаева, arai1104@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полихлорированные бифенилы, трансграничный сток, трансформация, конгенеры

АБСТРАКТ

Одной из важных экологических проблем в современных условиях является загрязнение водоемов и водотоков Казахстана стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), особенно входящими в их перечень высоко токсичными полихлорированными бифенилами (ПХБ). В данной работе приводятся результаты впервые проведенных научных исследований по оценке трансграничного притока на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по р. Жайык, особенностей их трансформации по течению реки на территории РК, об уровнях загрязнения ими многочисленных притоков реки и самостоятельных рек Большой и Малой Узени, притекающих из территории Российской Федерации (РФ). Обозначены основные источники загрязнения ПХБ р. Жайык и показано их разнообразное происхождение, что подтверждается и широким разнообразием конгенерного состава токсиканта, все это дают основание полагать о повышенной токсичности водных ресурсов реки по отношению к ПХБ. Приведены данные ведущих ученых об источниках загрязнения реки ПХБ на территории РФ. Показана загрязненность ПХБ трансграничного стока, водных ресурсов самой реки и ее притоков, выявлены большая межгодовая изменчивость уровня загрязненности речных вод и заметное снижение ее в 2024 г. Повышенная загрязненность ПХБ характерна для воды левобережных притоков, протекающих по территории Актюбинской области. Результаты исследования могут быть использованы государственными и местными органами по охране природы при разработке практических мероприятий по охране рек от загрязнения этими высоко токсичными поллютантами, что соответствует требованиям Стокгольмской конвенции о СОЗ).

1. ВВЕДЕНИЕ

Водная безопасность в условиях засушливого Казахстана рассматривается в настоящее время как важный компонент национальной безопасности. Важным аспектом количественного лимитирования водных ресурсов в Казахстане является то, что все главные реки Ертис, Иле, Сырдария, Жайык и другие, имеют трансграничный характер. Из 91,3 км³/год суммарных ресурсов поверхностных вод 48,5 %, т.е. 44,3 км³/год поступает с сопредельных государств, на территории республики формируется местный сток в объеме 47,0 км³/год [1].

Трансграничные проблемы для Казахстана приобретают остроту не только в области сохранения оптимального объема притока речных вод в наши водные бассейны, но и в том, что происходит по трансграничным рекам – приток различных токсичных соединений, взаимопроникновение чужеродных гидробионтов, в т.ч. рыб, привнос

По статье:

Получено: 09.07.2025
Пересмотрено: 08.12.2025
Принято: 18.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

Для цитирования:

Амиргалиев Н., Ахмеденов К, Мадибеков А., Исмуханова Л., Жәди А., Сұлтанаева А. Мониторинг уровня загрязненности полихлорированными бифенилами водных ресурсов бассейна трансграничной реки Жайык // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 41-56.

новых видов болезней рыб, поскольку территория Казахстана занимает нижнее течение всех трансграничных водотоков. Такая проблема существует и для р. Жайык.

Водные ресурсы р. Жайык широко используются в бассейне для хозяйственных целей. Вместе с тем, приток этих маломинерализованных вод в Каспийское море приводит к существенному опреснению мелководной зоны Казахстанского сектора моря, что создает благополучные условия для воспроизводства запасов ценных промысловых рыб, в т.ч. осетровых видов.

В последние десятилетия в р. Жайык наблюдается изменение водных ресурсов в сторону уменьшения в основном за счет антропогенно обусловленного сокращения стока, что создает серьезную угрозу устойчивому развитию природно-хозяйственной системы Западного Казахстана.

По многолетним данным, начиная с 1971 г., наблюдается системно-поэтапное уменьшение среднегодового стока реки Жайык. Величина годового стока реки по сравнению со среднемноголетним, равным 12,0 км³ [2], уменьшилась: к 1995 г. – в среднем до 10,0 км³, или на 16,7 %, а к 2016 г. – в среднем до 7,47 км³, или на 37,8 % [3].

Помимо проблем сокращения объема трансграничного притока, одной из угроз гидроэкологической безопасности остается антропогенная трансформация качественного состава водных ресурсов р. Жайык. Техногенное загрязнение поверхностных вод бассейна р. Жайык носит прогрессирующий характер, имеет место нарушение экологического баланса всего речного баланса. В реку поступает большое количество загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Происходит стабильное загрязнение водотоков по многим параметрам, превышающее предельно-допустимые концентрации (ПДК) для открытых водоемов.

Определяющим фактором техногенной метаморфизации химического состава речной воды на протяжении 50...60 лет и более в бассейне верхнего течения р. Жайык на территории РФ являются многочисленные объекты горнодобывающей и металлургической промышленности [4...5]. От района г. Магнитогорска до г. Орска авторы установили наличие 20 крупных источников химического загрязнения поверхностных вод. В указанных источниках приводятся данные о высокой загрязненности воды р. Жайык и ее притоков рядом токсичных соединений, содержание которых достигает высоких и экстремально высоких уровней.

К числу приоритетных загрязняющих веществ водных ресурсов Казахстана, в т.ч. р. Жайык, требующих системный аналитический контроль, относятся стойкие органические загрязнители (СОЗ). Хлорорганические пестициды (ХОП): (ДДТ, альдрин, гексахлорбензол, ГХЦГ и др.), полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые входят в перечень СОЗ, отличаются высокой токсичностью для живых организмов на чрезвычайно низком уровне концентрации в природных объектах. Для ксенобиотиков характерны высокая стойкость к физическим, химическим и биологическим факторам, глобальная распространность по воздуху, воде и мигрирующими видами, высокая кумуляционная способность в живых организмах, активная миграция по трофическим цепям.

СОЗ признаны международным сообществом веществами, представляющими большую опасность для здоровья человека и окружающей среды. Для принятия мер по охране человека и природной среды в 2001 г. было принято глобальное международное соглашение - Стокгольмская конвенция о СОЗ [6]. Она вступила в силу в 2004 г., Казахстан ратифицировал ее в 2007 г. Конвенция ставит цели: немедленное прекращение производства СОЗ, прекращение к 2025 г. их использование и уничтожение всех отходов не позднее 2028 г. экологически безопасными методами. Проблема, связанная с СОЗ, достаточно остро стоит и для Казахстана.

Одними из наиболее токсичных и распространенных в глобальном масштабе представителями СОЗ являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). На территории Республики Казахстан (РК) в настоящее время выявлено ПХБ-содержащие

оборудования в количестве 116 трансформаторов и около 50 тысяч конденсаторов. Объем содержащихся у них ПХБ приблизительно оценивается в 800 тонн. По данным предварительной инвентаризации, в республике были обнаружены восемь «горячих точек» территории, загрязненных ПХБ [7...8].

На водных объектах Казахстана целенаправленного мониторинга в целях реализации национальных задач по Стокгольмской конвенции о СОЗ практически не проводится. Наблюдения за этими ксенобиотиками не ведется и сетью Казгидромет и другими органами РК. В «Концепции экологической безопасности РК на 2004...2015 годы» указано об отсутствии в Казахстане объективной оценки загрязнения природной среды СОЗ.

Источниками поступления в среду ПХБ являются утечки из трансформаторов, конденсаторов, теплообменников, испарения из различных технических установок, где их использовали в качестве диэлектриков, гидравлических жидкостей, жидкие промышленные отходы, сжигание отходов ПХБ, городского мусора и испарение покрытий, материалов, содержащих ПХБ [9...13].

Исследования показали, что атмосферный перенос является основным путем переноса ПХБ, перенося их на большие расстояния от источников выбросов, где они осаждаются на различных экологических матрицах, таких как почва, вода, отложения, фильтраты, воздух. Также они могут осаждаться в биологических образцах, таких как растительные и животные ткани, человеческая кровь, жировая ткань, грудное молоко, в водных животных, таких как рыбы [14...16].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в чистой воде содержание ПХБ не должно превышать 0,5 нг/л. В США принятый норматив для водных организмов при хроническом воздействии токсиканта составляет 0,014 мкг/л, а для рыболовственных водоемов – 0,079 нг/л (последний критерий установлен с учетом влияния на здоровье человека) [17]. В западной Европе и США вещества этой группы не только жестко нормируются, но и исключаются из технологических процессов [18].

Согласно «Стандартам качества поверхностных вод Китая» (GB-3838-2002), предельно допустимая концентрация ПХБ – 20 нг/л [19...20]. В России величины ПДК для ПХБ имеют следующие значения:

- атмосферных воздух – 1 мкг/м³;
- вода (водные объекты хозяйственного и культурно-бытового водопользования) – 1 мкг/л;
- почва – 0,1 мг/кг [21...22].

Однако, исследования, проводимые нами в последние десятилетия, показывают значительный уровень загрязненности этими опасными поллютантами водных ресурсов главных трансграничных Иле-Балхашского, Ертисского [23...24], Аral-Сырдарьинского [25] бассейнов.

При этом следует сослаться на работу российских ученых З.К. Амирова и др. [26], опубликованной 2015 г., в которой сказано, что в то время в РФ создавался Национальный план по реализации Стокгольмской конвенции по СОЗ, в которой, в том числе, определены задачи мониторинга природных объектов, выявления локальных зон повышенного загрязнения, оценки риска воздействия СОЗ, разработка мероприятий по снижению эмиссии и реабилитации территорий в соответствии с наилучшими известными технологиями [27].

Данные об уровнях загрязнения ПХБ водных ресурсов реки Жайык на территории Казахстана впервые получены нами во время исследований, проведенных в 2005 и 2012 г. в низовьях реки [28]. Пробы воды для хроматографического анализа отбирались на участке реки протяженностью около 50 км.

Выше г. Атырау (с. Бугорки) концентрация ПХБ в воде в 2012 г. составила 0,93 мкг/дм³, а на замыкающей станции – в начале Урало-Каспийского канала (УКК) - она

возросла до 1,29 мкг/дм³. Аналогичная картина в распределении ПХБ по течению реки была зарегистрирована и в 2005 г. (рисунок 1).

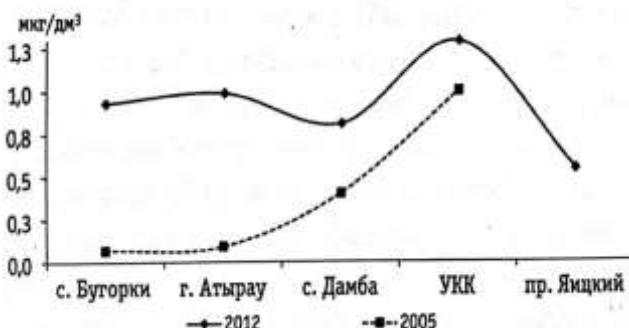


Рисунок 1. Изменение концентрации ПХБ в воде низовья и дельтовой зоны р. Жайык [28]

Такой рост количества токсиканта вниз по течению реки, очевидно, обусловлен влиянием отходов в виде сточных вод и атмосферных выбросов промышленных предприятий, расположенных в г. Атырау. Сравнительно менее загрязнена вода в Правом Яицком рукаве дельты, по которому проходит незначительная часть стока реки и берега его менее заселены. Ясно прослеживается увеличение в 2012 г. уровня ПХБ в речной воде по сравнению с 2005 г. - он возрос на порядок в пределах г. Атырау, в два раза у с. Дамба и заметно увеличился в УКК.

Вынос ПХБ речным стоком определяет характер распределения этих токсикантов в воде предустьевой морской акватории. Наибольшее их содержание (1,0 мкг/дм³) зарегистрировано в квадрате №24, куда в первую очередь поступает речная вода по УКК. По мере удаления от него концентрация ПХБ постепенно снижается.

Главная причина загрязнения ПХБ трансграничной р. Жайык является поступление в речную систему отходов многочисленных промышленных предприятий и других объектов, находящихся на территории РФ. По данным исследований и проведенных инвентаризаций [29] в Южно-Уральском регионе, тяготеющем к бассейну реки, имеются 74,5 тыс. единиц оборудования, содержащих ПХБ (трансформаторы и конденсаторы). Общее количество ПХБ в Оренбургской, Челябинской, Свердловской областях и в Башкортостане - 3354 т. Если к этому добавить огромные, загрязненные ПХБ территории, особенно в пределах главных источников загрязнения, то становится понятным уровень нагрузки ПХБ-содержащих стоков и выбросов в атмосферу в верхней части бассейна р. Жайык.

Согласно исследованиям [30], в Башкирской республике с высокой концентрацией промышленных предприятий, высокая загрязненность ПХБ воды и рыб в реках Башкирии является следствием многолетнего загрязнения рек в результате токсичных сбросов промышленных предприятий и судоходства. Не исключается возможность загрязнения реки и ее притоков в пределах городов Уральск, Актюбинск и Алга. Однако трудно что-либо определенно сказать из-за полного отсутствия информации по содержанию ПХБ как в трансграничном стоке реки Жайык, так и в ее водах в пределах Республики Казахстан.

Исследования Г.Н. Соловых и Н.В. Винокуровой [31] установили широкое распространение ПХБ в воде и донных отложениях р. Жайык на территории Оренбургской области РФ. В районе г. Оренбурга содержание токсиканта составило в 2009 г. в речной воде в пределах 0,0008...0,0012 мг/дм³, в 2011 г. – от 0,0005 до 0,0010 мг/дм³, а в донных отложениях 0,04...0,07 мг/кг и 0,015...0,065 мг/кг соответственно. В 2013 г. в пределах всего среднего течения реки: от г. Оренбург до Ириклинского водохранилища, концентрация ПХБ составила в воде 0,0003...0,00075 мг/дм³, а в донных отложениях от 0,01 до 0,035 мг/кг.

Все приведенные выше результаты исследований ученых Российской Федерации свидетельствуют о значительной загрязненности ПХБ воды и донных отложений на всем протяжении р. Жайык на территории РФ.

Учитывая все изложенное выше, а также важность сохранения нормативного качества водных ресурсов реки, основной целью проводимых исследований определены вопросы: изучение уровня загрязненности ПХБ трансграничного стока р. Жайык, ее основных притоков и характера трансформации токсиканта по течению реки на территории Республики Казахстан.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования река Жайык - третья по длине река в Европе (общая протяженность 2428 км, из них 1084 км - на территории Казахстана), с площадью бассейна около 380 тыс. км² [4]. Верховья реки находятся на территории РФ, а нижнее течение – в Западно-Казахстанской и Атырауской областях Казахстана.

Подробный материал об уровнях загрязненности ПХБ речных вод, притекающих на территории РК и всех основных притоков р. Жайык, а также о характере трансформации токсиканта по течению реки до Каспийского моря, получены в 2023 и 2024 гг. Точки отбора образцов воды в бассейне реки показаны на рисунке 2.

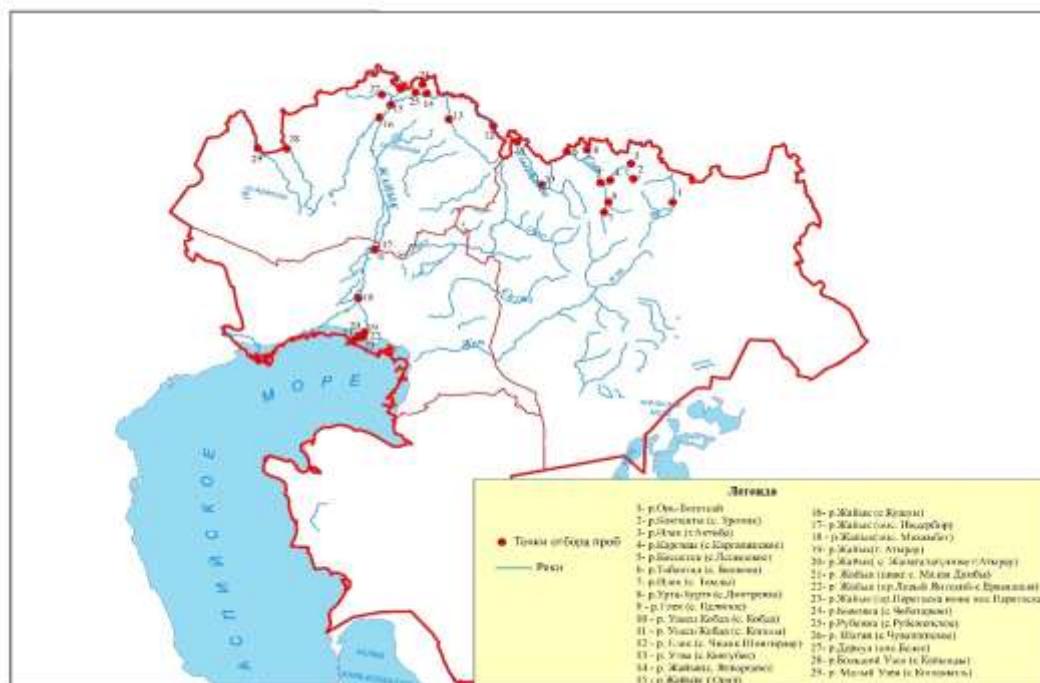


Рисунок 2. Точки отбора проб воды в бассейне р. Жайык на территории РК

В процессе исследования изучается не только суммарное содержание ПХБ, но и концентрация всех присутствующих конгенеров, от которых зависит уровень токсичности речной воды.

Собраны литературные сведения об источниках загрязнения воды р. Жайык на территории Российской Федерации.

Газохроматографический анализ ПХБ в воде проводился в соответствии с (СТБ ИСО 6468-2003, 2004) на газовом хроматографе “Хромос ГХ-1000” с программным обеспечением, электронно-захватным детектором (ДЭЗ) и использованием капиллярной колонки длиной 30 м × 0,32 мм. Условия хроматографирования: температура колонки 220 °C, температура испарителя 240 °C, температура детектора 300 °C, расход газа-носителя (азот “осч”) - 38 мл/мин. В качестве стандарта использовали ГСО состава

раствора Солова в гексане, представляющего собой смесь ПХБ-52, ПХБ-101, ПХ-138, ПХБ-153 и сумму тетра-, пента- и гексахлорбифенилов.

Сущность метода заключается в экстракции ПХБ из пробы анализируемой воды органическим растворителем (n-Гексан), концентрировании и очистке экстракта от сопутствующих соединений, анализе экстракта методом газовой хроматографии с использованием детектора электронного захвата (ДЭЗ), с последующим определением массовых концентраций индивидуальных конгенеров ПХБ с использованием метода абсолютной градуировки.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень загрязнения ПХБ трансграничного стока реки.

Стационарное наблюдение над уровнем загрязнения ПХБ воды, притекающей на территорию Казахстана по р. Жайык, проводилось 2023-2025 гг. По результатам хроматографического анализа проб воды, можно отметить, что во всех отобранных пробах воды зарегистрированы ПХБ. Как видно из данных таблицы 1, содержание токсиканта в речных водах изменялось от 0,014 до 0,076 мкг/дм³

Таблица 1

Концентрация ПХБ и их конгенеры в трансграничном стоке р. Жайык у с. Январцево

Глубина отбора проб	Дата	Конгенеры ПХБ	Сумма ПХБ, мкг/дм ³
поверх., 0,5 м			0,029
прид., 2 м	27.10.2023		0,026
поверх., 0,5 м			0,016
прид., 2 м			0,033
поверх., 0,5 м			0,035
прид., 2 м			0,019
поверх., 0,5 м	02.02.2024		0,041
прид., 2 м			0,076
поверх., 0,5 м	02.03.2024		0,028
прид., 2 м			0,022
поверх., 0,5 м	05.04.2024	40; 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;	0,027
поверх., 0,5 м	25.04.2024	137; 138; 141; 146; 151; 153; 155; 171	0,019
прид., 2 м			0,023
поверх., 0,5 м	06.06.2024		0,041
поверх., 0,5 м	23.07.2024		0,032
поверх., 0,5 м	15.08.2024		0,029
поверх., 0,5 м	11.09.2024		0,014
поверх., 0,5 м	15.10.2024		0,022
поверх., 0,5 м	11.11.2024		0,033
поверх., 0,5 м	05.12.2024		0,039
поверх., 0,5 м	23.01.2025		0,035
поверх., 0,5 м	21.02.2025		0,038

Примечание: поверх. – поверхностный слой, прид. – придонный слой

Конгенерный состав ПХБ в речных водах оказался весьма широким, зарегистрирован 31 индивидуальный изомер ПХБ, относящиеся к гомологическим группам от тетрахлорбифенилов (ПХБ 40,49) до гептакхлорбифенилов (ПХБ 171). В числе найденных конгенеров присутствуют строго контролируемые «маркерные» конгенеры: ПХБ 52, 101, 138, 153 и высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры ПХБ 105, 114, 118, относящиеся к гомологической группе пентахлорбифенилов. Известно, что более широкое структурное разнообразие конгенеров ПХБ является признаком того, что в загрязнении водоема и водотока этими токсичными соединениями участвуют источники различного происхождения. Это могут быть загрязнения промышленными смесями ПХБ, атмосферными переносами, а также пирогенного происхождения, обусловленного процессами сжигания промышленных и бытовых отходов.

Токсичное свойство природных вод по отношению к ПХБ определяется, очевидно, не только суммарной концентрацией токсиканта, но и содержанием в них более токсичных конгенеров как «маркерные» и особенно диоксиноподобные. Концентрация «маркерных» изомеров была в пределах 0,002...0,004 мкг/дм³, а относительное их

содержание в отдельных анализированных образцах воды составило от 4 до 24%. Диоксиноподобные конгенеры зарегистрированы в количестве от 0,002 до 0,005 мкг/дм³, их относительное содержание в отдельных пробах отмечено в интервале 3...18% (таблица 2).

Таблица 2

Содержание «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в трансграничном стоке р. Жайык у с. Январцево

Глубина отбора проб	Дата	Сумма ПХБ, мкг/дм ³	«маркерные»								диоксиноподобные					
			ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
			мкг/дм ³	%												
поверх., 0,5 м	27.10.2023	0,029	-	-	0,002	8	0,002	6	0,003	11	0,002	7	-	-	-	-
прид., 2 м		0,026	-	-	0,002	7	-	-	0,002	9	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	03.11.//	0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	11	-	-
прид., 2 м		0,033	-	-	-	-	0,002	5	0,002	6	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	07.12.//	0,035	0,002	5	-	-	0,003	10	-	-	0,002	6	-	-	0,002	6
прид., 2 м		0,019	0,002	10	0,003	16	-	-	-	-	0,002	12	-	-	0,003	14
поверх., 0,5 м	02.02.2024	0,041	0,002	6	-	-	0,002	4	0,003	7	0,003	7	-	-	-	-
прид., 2 м		0,076	-	-	-	-	-	-	0,002	2	0,002	3	-	-	0,002	3
поверх., 0,5 м	02.03.//	0,028	-	-	0,002	8	0,002	6	0,003	10	-	-	0,005	18	0,002	6
прид., 2 м		0,022	-	-	0,002	8	0,003	12	0,002	10	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	05.04.//	0,027	0,002	8	0,002	8	-	-	0,003	13	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	25.04.//	0,019	-	-	-	-	-	-	0,004	24	-	-	-	-	0,002	10
прид., 2 м		0,023	-	-	0,002	10	0,004	15	0,003	14	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	06.06.//	0,041	-	-	0,002	5	-	-	0,002	5	-	-	-	-	0,002	5
поверх., 0,5 м	23.07.//	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	15.08.//	0,029	0,002	9	-	-	0,003	11	-	-	0,002	8	-	-	0,005	16
поверх., 0,5 м	11.09.//	0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
поверх., 0,5 м	15.10.//	0,022	-	-	-	-	0,003	12	-	-	-	-	-	-	0,003	14
поверх., 0,5 м	11.11.//	0,033	0,004	12	-	-	-	-	0,004	12	0,003	8	0,003	8	0,002	7
поверх., 0,5 м	05.12.//	0,039	-	-	-	-	0,004	10	-	-	0,002	5	-	-	0,003	8
поверх., 0,5 м	23.01.2025	0,035	0,002	5	0,002	5	-	-	-	-	0,002	5	-	-	0,004	12
поверх., 0,5 м	21.02.//	0,038	0,004	11	0,003	7	-	-	0,004	11	0,003	7	-	-	0,002	4

Приведенный выше материал представляет собой первые научные данные о трансграничном притоке на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по р. Жайык. Анализ полученного материала показал загрязненность речных вод этими токсикантами у трансграничного ГП в течение всего года. Присутствие в конгенерном составе ПХБ целого ряда строго контролируемых «маркерных» и диоксиноподобных изомеров является показателем повышенного уровня токсичности речных вод по отношению к ПХБ. Распределение концентрации ПХБ по отдельным горизонтам речной воды в целом равномерно.

Уровень загрязнения ПХБ реки Жайык

Образцы речной воды для анализа ПХБ отбирались в апреле и июне 2024 года во время экспедиционных исследований, проведенных по всему течению реки и в ее дельтовой зоне. Согласно результатам хроматографического анализа (таблица 3), концентрация ПХБ в воде самой реки на территории Западно-Казахстанской области была в интервале 0,024...0,033 мкг/дм³, а на гидростворах по Атырауской области от 0,011 до 0,055 мкг/дм³. Содержание токсиканта в воде дельтовых притоков Левый Яицкий и Перетаска зарегистрировано в количестве 0,022 и 0,044 мкг/дм³ соответственно.

Заметное повышение содержания ПХБ в речной воде регистрируется в районе пос. Индербор, очевидно, под влиянием находящихся здесь рудников и других предприятий

по обогащению борных руд. Далее вниз по течению реки некоторый рост концентрации токсиканта наблюдается ниже промышленного города Атырау, а также в воде дельтового протока Перетаска из-за поступления в него сточных вод из Атырауского нефтеперерабатывающего завода.

Таблица 3

Общая характеристика загрязненности ПХБ воды р. Жайык и протоков дельты реки в 2024 г.

Дата отбора проб	Место отбора проб	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм ³
26.04.2024	р. Жайык - г. Уральск (поверхностный)		0,025
26.04.2024	р. Жайык - г. Уральск (придонный)		0,026
06.06.2024	р. Жайык - г. Уральск		0,033
05.06.2024	р. Жайык - с. Кушум	41,64,71; 42; 44; 48; 52; 66,95; 70,76;	0,024
02.06.2024	р. Жайык - пос. Индербор	74; 82; 85; 86; 87,115; 97; 101; 105;	0,055
04.06.2024	р. Жайык - пос. Махамбет	110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137;	0,011
04.06.2024	р. Жайык - г. Атырау	138; 141; 146; 151; 153; 171	0,033
04.06.2024	р. Жайык - с. Жанаталап (ниже г. Атырау)		0,044
04.06.2024	р. Жайык - ниже с. Малая Дамбы		0,038
04.06.2024	р. Жайык - пр. Левый Яитский - с. Еркенкала		0,020
04.06.2024	пр. Перетаска ниже пос. Перетаска		0,044

В водах р. Жайык и дельтовых протоков зарегистрировано 30 индивидуальных конгенеров ПХБ. Более важно анализировать количество и концентрации высокотоксичных «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров. Из данных таблицы 4 следует, что более широкое распространение в воде р. Жайык имеют «маркерные» конгенеры ПХБ 52, 138 и 153. Концентрация этой группы изомеров менялась в интервале 0,002...0,005 мкг/дм³, относительное их содержание в отдельных пробах воды составило от 3 до 16%.

Диоксиноподобные конгенеры обнаружены в речной воде также в концентрациях 0,002...0,005 мкг/дм³, встречаемость их по течению реки значительно реже по сравнению с «маркерными». Относительное их содержание в отдельных пробах от 5 до 16%.

Если сравнить данные, приведенные в таблице 3, с материалами, полученными нами в 2005 и 2012 гг. в низовьях реки (см. рисунок 1), то обнаруживается некоторое соответствие по значениям данных за 2024 и 2005 гг., полученных у г. Атырау и выше него, а в 2012 г. концентрация ПХБ в воде всего изученного участка реки была, примерно, на два порядка выше, по сравнению с данными за 2024 г.

На основе этого сопоставительного анализа можно предположить о существенных межгодовых изменениях уровня загрязнения речных вод ПХБ в низовьях и в дельтовой зоне водотока. Также установлено заметное снижение уровня загрязнения речных вод этими токсичными соединениями в 2024 г.

Таким образом, водные ресурсы реки Жайык по всему ее течению на территории Казахстана загрязнены высокотоксичными соединениями – ПХБ. Уровень загрязнения трансграничного стока и воды р. Жайык характеризуется близкими значениями. Четко прослеживается повышение концентрации токсиканта в районе с. Индербора и г. Атырау под влиянием антропогенных факторов. Выявлено существенные межгодовые колебания уровня загрязнения ПХБ речных вод и заметное его снижение в 2024 г.

Уровень загрязнения ПХБ притоков р. Жайык

В отношении притоков р. Жайык следует отметить, что все левобережные притоки, так называемые притоки первого порядка, как Елек, Орь, Урта-Буртя и Утва, находящиеся на территории Актюбинской области, впадают в р. Жайык на территории РФ, т.е. выше трансграничного гидропоста с. Январцево. Все остальные мелкие притоки второго порядка, как Тамды, Каргалы, Кокбекты и др. впадают в р. Елек. Правобережные притоки Быковка, Рубежка и Шаган впадают непосредственно в р. Жайык уже на территории Казахстана.

Таблица 4

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в воде р. Жайык и протоков дельты реки в 2024 г.

Дата	Место отбора проб	«маркерные»								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/дм ³	%												
26.04.	р. Жайык - г. Уральск (поверхностный)	-	-	-	-	-	-	0,003	13	-	-	-	-	-	-
26.04.	р. Жайык - г. Уральск (придонный)	0,003	11	-	-	-	-	-	-	0,004	14	-	-	0,003	12
06.06.	р. Жайык - г. Уральск	0,003	10	-	-	-	-	0,002	5	0,002	6	-	-	0,002	7
05.06.	р. Жайык - с. Кушум	0,003	14	-	-	-	-	-	-	0,002	9	-	-	-	-
02.06.	р. Жайык - пос. Индерборт	0,002	3	0,003	6	0,002	4	-	-	-	-	-	-	0,005	10
04.06.	р. Жайык - пос. Махамбет	-	-	-	-	0,002	16	-	-	-	-	0,002	16	-	-
04.06.	р. Жайык - г. Атырау	0,002	6	-	-	0,003	8	0,004	12	0,003	10	0,002	5	-	-
04.06.	р. Жайык - с. Жанаталап (ниже г. Атырау)	0,005	12	-	-	0,003	6	0,005	11	-	-	-	-	0,003	6
04.06.	р. Жайык - ниже с. Малая Дамбы	0,004	9	0,002	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	6
04.06.	р. Жайык - пр. Левый Янтский - с. Еркенкала	0,002	9	0,003	15	0,002	12	0,003	13	-	-	-	-	-	-
04.06.	пр. Перетаска ниже пос. Перетаска	0,004	10	-	-	0,002	4	0,002	5	0,004	9	0,002	5	-	-

Результаты исследований, проведенных в июне 2024 г., показали загрязненность изучаемыми токсикантами воды всех правобережных притоков и самостоятельных рек Большой и Малой Узени притекающих из РФ (Таблица 5).

Суммарная концентрация ПХБ в водах этих водотоков сравнительно невысока от 0,016 до 0,034 мкг/дм³. В них зарегистрировано 27 индивидуальных конгенеров ПХБ.

Таблица 5

Общая характеристика загрязненности ПХБ воды правобережных притоков р. Жайык и рек Большой и Малой Узени в

Дата отбора проб	Реки	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм ³
06.06.2024	Быковка – с. Чеботарево		0,033
06.06.//	Рубежка – с. Рубеженское	44; 52; 66,95; 70,76; 74; 87,115; 97; 101;	0,021
06.06.//	Шаган – с. Чувашинское	105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129;	0,017
06.06.//	Деркул – пос. Белес		0,034
02.06.//	Большой Узен – с. Кайынды	137; 138; 141; 146; 151; 153; 171	0,029
02.06.//	Малый Узен – с. Кошанколь		0,016

Как показано в таблице 6, в водах рассматриваемых водотоков в целом зарегистрированы «маркерные» и диоксиноподобные конгенеры. Однако, в отличие от р. Жайык, в водах этих притоков и рек указанные группы конгенеров присутствуют значительно реже. В воде притока Рубежка найдены всего два «маркерных» конгенера ПХБ 101 и 153, в воде р. Шаган всего один диоксиноподобный конгенер ПХБ 118, а в воде р. Малый Узен при суммарной концентрации ПХБ 0,016 мкг/дм³ конгенеры из указанных групп вообще отсутствовали.

Относительное содержание «маркерных» конгенеров в воде отдельных рек менялось от 7 до 18% при их концентрации 0,002...0,005 мкг/дм³. Для диоксиноподобных изомеров эти показатели составили 3...10% и 0,002...0,003 мкг/дм³ соответственно.

По приведенным материалам следует отметить, что водные ресурсы этих водотоков подвержены загрязнению ПХБ, однако уровень их загрязнения ниже по сравнению с р. Жайык.

Результаты хроматографического анализа, впервые полученные для этих рек, представлены в таблице 7.

Таблица 6

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в воде правобережных притоков р. Жайык и рек Большой и Малой Узени в 2024 г.

Дата	Реки	«маркерные»								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%	мкг/ дм ³	%
06.06.	Быковка – с. Чеботарево	0,005	14	-	-	0,002	5	0,002	7	0,002	6	-	-	0,002	7
06.06.	Рубежка – с. Рубеженское	-	-	0,004	18	-	-	0,003	15	-	-	-	-	-	-
06.06.	Шаган – с. Чувашинское	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	10
06.06.	Деркул – пос. Белес	-	-	-	-	0,003	8	0,004	12	0,003	10	0,002	5	-	-
02.06.	Большой Узен - с. Кайынды	0,002	7	-	-	0,002	7	0,003	10	-	-	0,002	8	-	-

Таблица 7

Общая характеристика уровня загрязненности речных вод ПХБ

Реки	Дата	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм ³
Орь - с. Богетсай	19.04.2024		0,029
Кокпекты - с. Троицк	19.04.//		0,030
Карагалы - с. Каргалинск	20.04.//		0,035
Косистек - с. Косистек	20.04.//		0,032
Табантал - с. Бескара	20.04.//		0,023
Елек- с. Тамды	20.04.//	40; 42; 44; 48; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86;	0,022
Елек - с. Целинное	21.04.//	87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 128; 129;	0,037
Елек - г. Актобе	21.04.//	137; 138; 141; 146; 151; 153; 171	0,025
Елек - с. Чилик Шингирлау	27.04.//		0,031
Урта-Буртя - с. Дмитревка	21.04.//		0,026
Улкен Кобда - с. Когалы	22.04.//		0,036
Улкен Кобда - с. Кобда	22.04.//		0,032
Утва - с. Кентубек	27.04.//		0,035

Анализ ПХБ в воде левобережных притоков р. Жайык, протекающих по территории Актюбинской области, проводился в апреле 2024 г. Изучению подверглись 10 рек, расположенные в пределах бассейна р. Жайык. Наибольшей протяженностью среди рек области, составляющей 623 км, обладает р. Елек, кроме того, она в большей степени подвержена антропогенному влиянию достаточно крупных городов и населенных пунктов, через которые протекает. Учитывая эти обстоятельства на этой реке пробы воды на определение ПХБ, как и других гидрохимических параметров, отбираются на 4 точках. Как видно из приведенных данных, токсиканты зарегистрированы в воде всех изученных левобережных притоков с концентрацией от 0,022 до 0,037 мкг/дм³, а среднее ее значение составило 0,031 мкг/дм³. Содержание ПХБ в воде отдельных рек характеризуется близкими значениями, наиболее высокая концентрация обнаружена в воде р. Елек у с. Целинное (0,037 мкг/дм³).

В водах рек зарегистрированы 27 индивидуальных конгенеров ПХБ. Встречаемость конгенеров в речных водах составила от 8% до 69% и 77%, особенно это характерно для изомеров ПХБ 153 и 129. Наличие конгенеров ПХБ 44 и ПХБ 52 до 21 и 24% соответственно зарегистрирована в воде р. Елек у с. Целинное.

Важное значение имеет анализ материала о содержании в составе ПХБ наиболее токсичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров. Более подробные сведения об этих конгенерах представлены в таблице 8.

Таблица 8*Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в водах изученных рек*

Реки	Сумма ПХБ, мкг/дм ³	маркерные								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/дм ³	%												
Орь - с. Богетсай	0,029	0,003	11	0,003	10	-	-	0,002	6	-	-	-	-	-	-
Кокпекты - с. Троицк	0,030	-	-	-	-	-	-	0,002	5	0,003	11	-	-	0,003	12
Карагалы - с. Каргалинск	0,035	0,004	11	-	-	0,002	6	0,002	7	-	-	0,004	11	-	-
Косистек - с. Косистек	0,032	0,002	6	-	-	-	-	0,002	5	0,003	11	0,002	8	-	-
Табантал - с. Бескара	0,023	0,002	9	-	-	0,003	11	0,003	11	-	-	-	-	-	-
Елек- с. Тамды	0,022	-	-	-	-	-	-	0,002	10	0,002	8	-	-	-	-
Елек - с. Целинное	0,037	0,009	24	-	-	-	-	0,004	11	0,002	6	0,003	9	-	-
Елек - г. Актобе	0,025	-	-	-	-	0,003	13	-	-	0,002	9	0,003	11	0,003	12
Елек - с. Чилик Шингирлау	0,031	-	-	0,003	9	0,004	11	-	-	-	-	0,005	17	0,002	7
Урта-Буртя - с. Дмитревка	0,026	-	-	-	-	0,002	9	-	-	0,002	8	-	-	0,004	15
Улкен Кобда - с. Когалы	0,036	0,005	14	-	-	0,002	6	0,003	7	0,002	6	0,002	6	0,003	7
Улкен Кобда - с. Кобда	0,032	0,002	5	-	-	0,002	5	-	0	0,002	7	-	-	-	-
Утва - с. Кентубек	0,035	-	-	-	-	-	-	0,005	13	-	-	0,002	6	0,002	5

Из приведенных данных видно, что в воде всех изученных рек зарегистрированы в основном 3-4 конгнера из класса «маркерных» и диоксиноподобных, большее число – 6 конгнера зарегистрировано в воде р. Улкен Кобда, а всего 2 конгнера – в воде р. Елек у с. Тамды, т.е. в верховьях этой реки.

Характерной особенностью водных ресурсов изучаемых рек является содержание в них довольно большого количества «маркерных» и диоксиноподобных конгнера. «Маркерные» конгнера ПХБ 52 и 138, например, зарегистрированы в воде 7-и рек, а ПХБ 153 – 8 рек, диоксиноподобные в воде 6 и 8 рек.

В воде р. Елек у с. Целинное, в которой обнаружена максимальная концентрация ПХБ (0,037 мкг/дм³), зарегистрирован наибольший процент (24%) встречаемости «маркерного» конгнера ПХБ 52. Больше всего высокотоксичных диоксиноподобных конгнера ПХБ 114 и 118 отмечено в водах р. Елек у с. Чилик (17%) и р. Урта-Буртя (15%), в которых также зарегистрирована максимальная концентрация ПХБ. А наблюдаемая регистрация в воде одного и того же водного объекта максимальной концентрации ПХБ и ее высокотоксичных конгнераов явление крайне редкое. Это, очевидно, показатель того, что вода данных водотоков имеет повышенную токсичность.

Анализ полученных результатов дает основание считать, что водные ресурсы всех изученных рек в повышенной степени загрязнены ПХБ, уровень концентрации ПХБ в воде отдельных водотоков характеризуется близкими значениями. Достаточно частая встречаляемость в водах высокотоксичных конгнераов ПХБ, придает речным водам повышенный уровень токсичности. При этом следует особо отметить, что загрязнение этих левобережных притоков р. Жайык высокотоксичными соединениями происходит исключительно промышленными предприятиями Актюбинской области.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материал приведенный в данной работе, представляет собой первые научные данные о трансграничном притоке на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по

р. Жайык, о трансформации их по течению реки на территории РК, а также об уровнях загрязнения ими многочисленных притоков реки и самостоятельных рек Большой Узен (Караозен) и Малый Узен (Сарыозен), притекающих из территории РФ. Анализ полученного материала показал загрязненность речных вод этими токсикантами у трансграничного ГП во все сроки отбора проб. Присутствие в конгенерном составе ПХБ целого ряда строго контролируемых «маркерных» и диоксиноподобных изомеров является показателем повышенного уровня токсичности речных вод по отношению к ПХБ. Распределение концентрации ПХБ по отдельным горизонтам речной воды в целом равномерно.

Водные ресурсы реки Жайык по всему ее течению на территории Казахстана загрязнены ПХБ. Уровень загрязнения трансграничного стока и воды р. Жайык характеризуется близкими значениями. Выявлено заметное возрастание уровня загрязнения речной воды ПХБ под влиянием различных антропогенных факторов в районе с. Индербара и г. Атырау. На основе анализа имеющегося материала выявлено существенная межгодовая изменчивость уровня загрязненности речных вод ПХБ и сравнительно низкий уровень ее в 2024 г.

Водные ресурсы всех изученных притоков р. Жайык также подвержены загрязнению ПХБ. Повышенный уровень загрязнения этими токсикантами зарегистрирован в воде левобережных притоков реки. Менее загрязнены правобережные притоки и р. Малый Узен (Сарыозен). Максимальные концентрации ПХБ, а также большее количество «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров, зарегистрированы в воде левобережных притоков как р. Елек и Урта-Буртая, что придают водным ресурсам этих рек повышенную токсичность. Надо учесть, что загрязнение этих левобережных притоков р. Жайык высокотоксичными соединениями происходит исключительно промышленными предприятиями Актюбинской области.

Результаты проведенного исследования могут быть полезны при разработке областными органами по охране природы практических мероприятий по охране реки от загрязнений, а также специалистами в области исследования качества природных вод в вопросах научного обоснования важности изучения трансграничных проблем. Следует также отметить о необходимости расширения РГП «Казгидромет» перечня анализируемых в речных водах токсичных веществ, включая стойких органических загрязнителей (СОЗ), учитывая важность данной трансграничной реки и загрязненности ее этими токсикантами.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В этом исследовании использованы опубликованные данные ученых Российской Федерации, дальнего зарубежья и Казахстана, соответствующие тематике исследования. По вопросам объемов водного стока р. Жайык использованы опубликованные РГП «Казгидромет» данные государственного мониторинга РК. Статья написана на материале собственных и зарубежных изданий.

Проблемы охраны природной среды от воздействия изучаемых высокотоксичных веществ, рассматриваются в соответствии с требованиями Стокгольмской конвенции о СОЗ, принятой многими странами мира, в т.ч. РК.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - НАА; создание программного обеспечения - НАА; подготовка и редактирование текста – НАА; проведение исследования – КМА; разработка методологии - АСМ; проведение исследований и статистического анализа - ЛТИ; Проведение исследований, визуализация - АӘЖ; ресурсы – АӘС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абишев И.А. Водные ресурсы Казахстана и их использование // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 9-18.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – Т. 12, Вып. 2. – 511 с.
3. Медеу А.Р., Амиргалиев Н.А., Давлетгалиев С.К., Сергалиев Н.Х., Ахмедов К.И. Оценка состояния водных ресурсов трансграничных рек Урало-Каспийского бассейна // Материалы международной научно-практической конференции

- «Геоэкологические проблемы степных регионов». Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты. - Оренбург, 2017. – Т. 1. – С. 32-45.
4. Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибilev A.A., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне реки Урал // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. № 4. – С. 504–516.
 5. Павлейчик В.М., Сивохин Ж.Т. Формирование качества поверхностных вод бассейна верхнего течения реки Урал в условиях техногенной трансформации природной среды // Водные ресурсы. - 2013. – Т. 40. № 5. – С. 153–161.
 6. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. - Стокгольм, 2001. – 53 с.
 7. Беркинбаев Г. Д., Федоров Г. В. Проблемы стойких органических загрязнителей в Казахстане // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия экологическая. – Алматы, 2009. – № 2 (25). – С. 3–8.
 8. Ishankulov M.Sh. (2008). PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PCB Impact Human health Experience. In NATO science series volume: The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment. Springer. 2008, PP. 387–403.
 9. Галиулин Р.В. Стойкие хлорорганические соединения в Юго-Восточном районе Азовского моря // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 3-8.
 10. Erickson M.D. Analytical Chemistry of PCBs / M.D. Erickson. – 1997.
 11. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds. — 2000. — Vol 3.
 12. Qu C., Albanese S., Cicchella D., Fortelli A., Hope D., Esposito M., Cerino P., Pizzolante A., Qi S., DeVivo B. (2022). The contribution of persistent organic pollutants to the environmental changes in Campania region, Italy: results from the Campania transparente project, J. Geochem. Explor. 241 107071.
 13. Eze V.C., Onwukeme V., Enyoh C.E. (2020) Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern, Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer, Int. J. Environ. Anal. Chem. 1–22.
 14. Aralu C.C., Okoye P.A., Abugu H.O., Eze V.C. (2023). Chukwuemeka-Okorie H.O. Potentially toxic element contamination and risk assessment of borehole water within a landfill in the Nnewi metropolis, Health Environ. 4 (1) 186–197, <https://doi.org/10.25082/HE.2023.01.001>
 15. Eze V.C., Nwabudike A.R., Duru C.E., Isiuku B.O., Ibe F.C., Ogbuagu J.O., Enyoh C.E., M.O. Muogbo. (2021). Human health risk assessment of the levels of dioxinlike polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils from mechanic workshops within Nekede mechanic village, Imo State, Nigeria, Int. J. Environ. Anal. Chem. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1974424>.
 16. Arfaeinia H., Asadgol Z., Ahmadi E. (1986). Characteristics, distribution and sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in coastal sediments from the heavily industrialized area of Asalouyeh, Iran, Water Sci. Technol. 76 (2017) 3340–3350
 17. Quality Criteria for Water. EPA 440/5-86-001. p. 484
 18. Козловская В.И., Герман А.В. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, 5. – С. 563–569.
 19. Tang S.Z., Chen Z.X., Hao Q.R., Hu Y.P., Wang J.L., Qin D.L., Wang P., Wang H.T. (2024). Detection of PCBs and OCPs in the Irtysh River Water (GC-MS/MS) and ecological risk assessment. MethodsX, 13, 102944. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102944>.
 20. GB 3838-2002. Environmental quality standards for surface water, Standards Press of China, Beijing, 2002.
 21. Клюев Н.А. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века / Н.А. Клюев, Е.С. Бродский // Инф. выпуск ВИНТИ. – М., 2000. – № 5. - С. 31-63.
 22. Галиулин Р.В. Импактные зоны стойких хлорорганических соединений в окружающей среде / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // АгроХимия. – 2011. – № 3. – С. 83-89.
 23. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле- Балкашского бассейна. – Алматы: ТОО «Нурай Принт Сервис», 2016. – 192 с.
 24. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Бурлибаева Д.М., Исмуханова Л.Т., Кулбекова Р.А. Водная безопасность Республики Казахстан: трансграничные бассейны рек Иле и Ертис, том V Качество вод. – Алматы, 2021. – Т. V. – 160 с.
 25. Amirgaliyev N.; Opp C.; Askarova M.; Ismukhanova L.; Madibekov A.; Zhadi A. (2023) Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea-Syrdarya Basin. Appl. Aci., 13, 11453. <http://doi.org/10.3390/app132011453>
 26. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.У., Шамсутдинова Л.Р., Сайтова Л.Р., Хакимова А.А. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. № 5-1. – С. 9–15.
 27. Soil Guideline Values for dioxins, furans and dioxin-like PCBs in soil. Science Report SC050021 / Dioxins SGV. Environmental Agency September, 2009.
 28. Amirgaliev N.A., Askarova M., Medeu A.A., Kulbekova R., Medeu A.R. (2022). Water quality problems analysis and assessment of the ecological security level of the Transboundary Ural-Caspian basin of the Republic of Kazakhstan // Applied Sciences (Switzerland). –12(4). – P. 2059. <https://doi.org/10.3390/app12042059>
 29. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. – М.: БННОМ, 2004. – 323 с.
 30. Шахтамиров И.Я., Амирова З.К. Диоксины и ПХБ в тканях пресноводных рыб техногенных акваторий России // Рыбное хозяйство. – 2011. – №3. – С. 36-39.
 31. Соловьев Г.Н., Винокурова Н.В. Содержание полихлорированных бифенилов в экосистеме р. Урал // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5.

REFERENCES

1. Abishev I.A. (2016). Vodnye resursy Kazakhstana i ikh ispol'zovanie [Water resources of Kazakhstan and their use]. In: Vodnye resursy Tsentral'noi Azii i ikh ispol'zovanie. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the UN decade "Water for Life". Almaty, Book 1, pp. 9–18. [in Russian]
2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Uralo-Embinskii raion. (1970). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Uralo-Embinskii raion [Surface water resources of the USSR. Ural-Emba region]. Leningrad: Gidrometeoizdat, Vol. 12, Issue 2, 511 p. [in Russian]

3. Medeu A.R., Amirkaliyev N.A., Davletgaliyev S.K., Sergaliyev N.Kh., Akhmedov K.I. (2017). Otsenka sostoyaniya vodnykh resursov transgranichnykh rek Uralo-Kaspiskogo basseina [Assessment of water resources of the transboundary Ural-Caspian basin]. In: Geoekologicheskie problemy stepnykh regionov. Okhrana prirody i regional'noe razvitiye: garmoniya i konflikty. Orenburg, Vol. 1, pp. 32–45. [in Russian]
4. Sivokhip Zh.T., Pavlechik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. (2017). Problemy ustoichivogo vodopol'zovaniya v transgranichnom basseine reki Ural [Problems of sustainable water use in the transboundary Ural River basin]. Vodnye resursy, 44(4), 504–516. [in Russian]
5. Pavlechik V.M., Sivokhip Zh.T. (2013). Formirovanie kachestva poverkhnostnykh vod verkhnego techeniya reki Ural v usloviyah tekhnogennoi transformatsii prirodnoi sredy [Formation of surface-water quality in the upper Ural River under technogenic impact]. Vodnye resursy, 40(5), 153–161. [in Russian]
6. Stockholm Convention (2001). Stokgol'mskaya konventsija o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants]. Stockholm, 53 p.
7. Berkinbaev G.D., Fedorov G.V. (2009). Problemy stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v Kazakhstane [Problems of persistent organic pollutants in Kazakhstan]. Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya, 2(25), 3–8. [in Russian]
8. Ishankulov M.Sh. (2008). PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PCB Impact Human Health Experience. In: NATO Science Series, The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment, Springer, pp. 387–403.
9. Galiulin R.V. (2012). Stoikie khlororganicheskie soedineniya v Yugo-Vostochnom raione Azovskogo morya [Persistent organochlorine compounds in the southeastern Azov Sea region]. Voda: khimiya i ekologiya, 10, 3–8. [in Russian]
10. Erickson M.D. (1997). Analytical Chemistry of PCBs. CRC Press.
11. Kannan N. (2000). The Handbook of Environmental Chemistry, Part K: New Types of Persistent Halogenated Compounds. Vol. 3. Springer.
12. Qu C., Albanese S., Cicchella D., Fortelli A., Hope D., Esposito M., Cerino P., Pizzolante A., Qi S., De Vivo B. (2022). The contribution of persistent organic pollutants to the environmental changes in Campania region, Italy: results from the Campania transparente project. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 241, 107071.
13. Eze V.C., Onwukeme V., Enyoh C.E. (2020). Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, pp. 1–22.
14. Aralu C.C., Okoye P.A., Abugi H.O., Eze V.C., Chukwuemeka-Okorie H.O. (2023). Potentially toxic element contamination and risk assessment of borehole water within a landfill in the Nnewi metropolis. Health and Environment, Vol. 4(1), pp. 186–197. <https://doi.org/10.25082/HE.2023.01.001>
15. Eze V.C., Nwabudike A.R., Duru C.E., Iсиuku B.O., Ibe F.C., Ogbuagu J.O., Enyoh C.E., Muogbo M.O. (2021). Human health risk assessment of the levels of dioxinlike polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils from mechanic workshops within Nekede mechanic village, Imo State, Nigeria. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1974424>
16. Arfaeinia H., Asadgol Z., Ahmadi E. (2017). Characteristics, distribution and sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in coastal sediments from the heavily industrialized area of Asalouyeh, Iran. Water Science and Technology, Vol. 76, pp. 3340–3350.
17. EPA (1986). Quality Criteria for Water. EPA 440/5-86-001, 484 p.
18. Kozlovskaya V.I., German A.V. (1997). Polikhlorirovannye bifenily i poliaromaticheskie uglevodorody v ekosisteme Rybinskogo vodokhranilishcha [PCBs and PAHs in the ecosystem of the Rybinsk reservoir]. Vodnye resursy, 24(5), 563–569. [in Russian]
19. Tang S.Z., Chen Z.X., Hao Q.R., Hu Y.P., Wang J.L., Qin D.L., Wang P., Wang H.T. (2024). Detection of PCBs and OCPs in the Irtysh River Water (GC-MS/MS) and ecological risk assessment. MethodsX, Vol. 13, 102944. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102944>
20. GB 3838-2002. (2002). Environmental quality standards for surface water. Beijing: Standards Press of China.
21. Klyuev N.A., Brodskii E.S. (2000). Opredelenie polikhlorirovannykh bifenilov v okruzhayushchey srede i biote [Determination of PCBs in the environment and biota]. Polikhlorirovannye bifenily. Supertoksikanty XXI veka, VINITI, Issue 5, 31–63. [in Russian]
22. Galiulin R.V., Galiulina R.A. (2011). Impaktnye zony stoikikh khlororganicheskikh soedinenii v okruzhayushchey srede [Impact zones of persistent organochlorine compounds]. Agrokhimiya, 3, 83–89. [in Russian]
23. Amirkaliyev N.A. (2016). Polikhlorirovannye bifenily v vodnoi ekosisteme Ile-Balkashskogo basseina [PCBs in the aquatic ecosystem of the Ile-Balkhash basin]. Almaty: Nuray Print Servis, 192 p. [in Russian]
24. Amirkaliyev N.A., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Burlibaeva D.M., Ismuhanova L.T., Kulbekova R.A. (2021). Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazakhstan: transgranichnye basseiny rek Ile i Ertis. Tom V. Kachestvo vod [Water security of Kazakhstan: transboundary basins of the Ile and Irtysh rivers. Vol. V: Water quality]. Almaty, 160 p. [in Russian]
25. Amirkaliyev N., Opp C., Askarova M., Ismuhanova L., Madibekov A., Zhadi A. (2023). Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea-Syrdarya Basin. Applied Sciences, Vol. 13, 11453. <http://doi.org/10.3390/app132011453>
26. Amirova Z.K., Belan L.N., Valiullina A.U., Shamsutdinova L.R., Saitova L.R., Khakimova A.A. (2015). Monitoring stoykikh organicheskikh soedineniy i poliaromaticeskikh uglevodorodov v pochvakh Ufy [Monitoring of POPs and PAHs in soils of Ufa city]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 17(5-1), 9–15. [in Russian]
27. Environmental Agency (2009). Soil Guideline Values for dioxins, furans and dioxin-like PCBs in soil. Science Report SC050021 / Dioxins SGV.
28. Amirkaliyev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A.A., Kulbekova R., Medeu A.R. (2022). Water quality problems analysis and assessment of the ecological security level of the Transboundary Ural-Caspian basin of the Republic of Kazakhstan. Applied Sciences (Switzerland), Vol. 12(4), p. 2059. <https://doi.org/10.3390/app12042059>
29. Maistrenko V.N., Klyuev N.A. (2004). Ekologo-analiticheskiy monitoring stoykikh organicheskikh zagryaznitelei [Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants]. Moscow: BN NOM, 323 p. [in Russian]
30. Shakhtamirov I.Ya., Amirova Z.K. (2011). Dioksiny i PKhB v tkanyakh presnovodnykh ryb tekhnogennykh akvatoriy Rossii [Dioxins and PCBs in freshwater fish tissues from technogenic water bodies of Russia]. Rybnoe khozyaistvo, 3, 36–39. [in Russian]
31. Solovykh G.N., Vinokurova N.V. (2015). Soderzhanie polikhlorirovannykh bifenilov v ekosisteme r. Ural [PCB content in the Ural River ecosystem]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 5. [in Russian]

ШЕКАРА МАҢЫНДАҒЫ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІЦ СУ РЕСУРСТАРЫНДАҒЫ ПОЛИХЛОРЛАНГАН БИФЕНИЛДЕРМЕН ЛАСТАНУ ДЕНГЕЙІН МОНİТОРИНГІЛЕУ

Нариман А. Эміргалиев¹ ҚазҰЖФА академигі, г.ғ.д., профессор, Кажмурат М. Ахмеденов² г.ғ.к., профессор, Азамат С. Мадибеков^{1,3} PhD, қауымдастырылған профессор, Лаура Т. Исмуханова^{1,3} PhD, Асхат Ә. Жәди¹, Арай Ә. Сұлтанаева^{*1,3}

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

² «Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті» ҚеАҚ, Орал, Қазақстан; kazhmurat78@mail.ru

³ Әл-Фараби атындағы Қазақ Үлттық университеті, Алматы, Қазақстан; madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, arai1104@mail.ru
*Автор корреспондент: Арай Ә. Сұлтанаева, arai1104@mail.ru

ТҮЙН СӨЗДЕР

полихлорланған бифенилдер, трансшекаралық ағыс, трансформация, конгенерлер

АБСТРАКТ

Қазақстан су айдындарының ағымдарын тұрақты органикалық ластағыштармен, әсіресе олардың ішінде аса улы полихлорланған бифенилдермен (ПХБ) ластануы қазіргі жағдайдағы маңызды экологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Бұл жұмыста алғаш рет Жайық өзені арқылы Қазақстан аумағына аса улы полихлорланған бифенилдердің (ПХБ) трансшекаралық тасымалын бағалау бойынша ғылыми зерттеулер нәтижелері көлтіріледі. Өзен ағысы бойындағы ПХБ-ның өзгеру ерекшеліктері, олардың Қазақстан аумағындағы көптеген салалары мен Ресей Федерациясы аумағынан келетін Елек және Шаған өзендерінің ластану деңгейі анықталды. Жайық өзеніндегі ПХБ ластануының негізгі көздері және олардың әртүрлі шығу тегі көрсетілген, бұл ластағыштардың конгенерлік құрамының алуан түрлілігімен дәлелденеді және өзен сүйнің ПХБ бойынша жоғары үйттылығын айқындауды. Ресей Федерациясы аумағындағы өзенді ПХБ-мен ластау көздері туралы жетекші ғалымдардың деректері көлтірілген. Трансшекаралық ағыс, өзеннің және оның салаларының су ресурстарының ПХБ-мен ластану деңгейі көрсетілген, өзен суларының ластану деңгейінің жылдар бойынша айтарлықтай өзгеретіндігі және 2024 жылға оның айтарлықтай төмөндеуі анықталды. ПХБ-мен жоғары ластану Ақтөбе облысының аумағынан өтетін сол жағалаудағы салалар сүйна тән екені көрсетілді.

Бұл зерттеу нәтижелері Стокгольм конвенциясының ТҮЗ (тұрақты органикалық ластағыштар) жөніндегі талаптарына сәйкес келетін өзендерді осы аса улы ластағыштардан қорғау жөніндегі практикалық шараларды әзірлеу кезінде мемлекеттік және жергілікті табиғатты қорғау органдарымен қолданылуы мүмкін.

Мақала жайында:

Жіберілді: 09.07.2025
Қайта қаралды: 08.12.2025
Қабылданды: 18.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

MONITORING THE LEVEL OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS POLLUTION IN THE WATER RESOURCES OF THE TRANSBOUNDARY ZHAYIK RIVER BASIN

Nariman Amirkaliyev¹ Academician of KazNAEN, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Kazhmurat Akhmedenov² Candidate of Geographical Sciences, Professor, Azamat Madibekov^{1,3} PhD, Associate Professor , Laura Ismukhanova^{1,3} PhD, Askhat Zhadi¹, Aray Sultanayeva^{*1,3}

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

² NJSC «West Kazakhstan University named after Makhambet Utemisov», Uralsk, Kazakhstan; kazhmurat78@mail.ru

³ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; madibekov@mail.ru, l-aura@bk.ru, arai1104@mail.ru

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

KEY WORDS

ABSTRACT

polychlorinated biphenyls,
transboundary flow,
transformation,
congeners

One of the most pressing environmental issues today is the pollution of Kazakhstan's water bodies and streams by persistent organic pollutants, particularly highly toxic polychlorinated biphenyls (PCBs). This paper presents the results of the first scientific study evaluating the transboundary inflow of highly toxic PCBs into Kazakhstan via the Zhayik River, as well as the transformation characteristics of these compounds along the river within Kazakhstan, and the levels of PCB pollution in numerous tributaries and independent rivers such as the Bolshoy and Maly Uzen, flowing from the territory of the Russian Federation. The main sources of PCB pollution in the Zhayik River have been identified, revealing their diverse origins, which is confirmed by the wide variety of congener compositions of the toxicant, suggesting the elevated toxicity of the river's water resources with respect to PCBs. Data from leading scientists regarding the sources of PCB pollution in the river within the Russian Federation are also provided. The contamination levels of transboundary flows, the river's water resources, and its tributaries with PCBs are presented, highlighting significant interannual variability and a noticeable decrease in pollution levels in 2024. Elevated PCB contamination is characteristic of the waters of left-bank tributaries flowing through the Aktobe region.

The findings of this study can be used by national and local environmental protection agencies in developing practical measures to protect rivers from contamination by these highly toxic pollutants, in line with the requirements of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

About article:

Received: 09.07.2025

Revised: 08.12.2025

Accepted: 18.12.2025

Published: 30.12.2025

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