

**ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ЗАПОВЕДНОГО ОЗЕРА МАРКАКОЛЬ И ВПАДАЮЩИХ В НЕГО РЕК**

**Н.А. Амиргалиев** *д.г.н., профессор*, **А.С. Мадибеков** *PhD, ассоциированный профессор*,  
**Л.Т. Исмуханова\*** *к.г.н.*, **А.Ө. Жәди**, **Б.М. Султанбекова**

*АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан*  
*E-mail: istukhanova@ingeo.kz*

В статье приводятся результаты исследования уровня загрязнения полихлорированными бифенилами (ПХБ) воды и донных отложений оз. Маркаколь и рек его бассейна. Представлена краткая информация о важности изучения накопления и распространения этих опасных ксенобиотиков в водоемах и водотоках республики в целях реализации принятых РК задач в соответствии с требованиями глобальной Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях (СОЗ). Проведенные исследования прежде всего показали загрязненность водных ресурсов и донных осадков озера и рек, расположенных в заповедной территории. Выявлено неравномерное распространение концентрации токсиканта по акватории озера как в воде, так и донных отложениях. Наиболее высокие концентрации токсиканта зарегистрированы в воде реки Калжыр, вытекающей из озера. В озерных и речных водах обнаружены 30 индивидуальных конгенов ПХБ, среди которых присутствуют высокотоксичные диоксиноподобные и «маркерные» конгены. В водных ресурсах найдены и другие конгены, обладающие достаточно высокой токсичностью. Основываясь на научных результатах ученых дальнего и ближнего зарубежья в области проблем распространения этих токсикантов на планете сделано предположение об атмосферном переносе этих токсичных соединений в данную заповедную зону из высокозагрязненных ПХБ территории.

**Ключевые слова:** полихлорированные бифенилы, токсичность, концентрация, конгены, атмосферный перенос.

Поступила: 18.03.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-81-94

**ВВЕДЕНИЕ**

Озеро Маркаколь – самое крупное озеро Горного Алтая, расположенное в тектонической котловине. Площадь водосборного бассейна составляет 1180 км. Общая площадь его поверхности составляет 454,1 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 23,8 м, объем – 6,5 км<sup>3</sup>. Длина озера равна 38 км, ширина – 19 км. В озеро впадают 27 ручьев и малых рек, основные из них – Тополевка, Матабай, Еловка, Карагайлыбулак, Жирень-Байтал, и берет свое начало р. Калжыр.

Озеро расположено на территории Маркакольского национального природного заповедника, который является частью Алтайско-Саянского экологического региона. Заповедник организован Постановлением

Совета Министров Казахской ССР от 4 августа 1976 года № 365 для сохранения и изучения природных комплексов южной части Алтая, разработки методов восстановления биоценозов черневой тайги, изучения экологии и динамики численности рыб в оз. Маркаколь. Благодаря своему уникальному ландшафту и биологическому разнообразию, территория Маркакольского заповедника охраняется как ключевой ареал Международных программы Global Environment Facility (GEF), United Nations Development Programme (UNDP), World Wildlife Fund (WWF), Nature And Biodiversity Conservation Union (NABU) and GTZ для сохранения Алтай-Саянского биологически разнообразного экологического региона и входит в 200 приоритетных глобальных

экологических регионов, определенных Международной Организацией «WWF Living Planet» (Доклад «Живая планета»). Казахстан, как сторона Конвенции по сохранению биологического разнообразия (Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 г.), которая была одобрена РК от 19 августа 1994 г. № 918, имеет определенные обязательства по сохранению биологического разнообразия. На 34-ой сессий Международного координационного совета программы «Человек и биосфера» Маркакольский заповедник был принят во Всемирную сеть ЮНЕСКО биосферных резерватов. Все вышеописанное свидетельствует о внимании мирового сообщества к вопросам сохранения биологического разнообразия Казахстана.

Характерной особенностью района расположения оз. Маркаколь является низкая температура воздуха, это самый холодный район Казахстана. По данным РГП «Казгидромет» среднегодовая температура воздуха составляет  $-3,7$  °С. Среднемесячная температура воздуха в июле отмечается на уровне  $14,4$  °С (Государственный климатический кадастр).

К числу приоритетных загрязняющих веществ окружающей среды, в т.ч. водных ресурсов Казахстана, 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 даже при чрезвычайно низких уровнях концентраций в природных объектах. Для ксенобиотиков характерны: высокая стойкость к физическим, химическим и биологическим факторам, глобальная распространенность в воздухе, воде и мигрирующих видах, 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

соглашение – Стокгольмская конвенция о СОЗ (Стокгольмская конвенция..., 2001). 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 использования и уничтожение всех отходов не позднее 2028 г. экологически безопасными методами. Проблема, связанная с СОЗ, достаточно остро наблюдается и в Казахстане.

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-содержащее оборудование в количестве 116 трансформаторов и около 50 тысяч конденсаторов. Объем содержащихся в них ПХБ приблизительно оценивается в 800 тонн. По данным предварительной инвентаризации, в республике были обнаружены восемь «горячих точек» территории, загрязненных ПХБ (Ishankulov, 2008).

Режимный мониторинг для реализации Национальных задач по Стокгольмской конвенции о СОЗ на водных объектах Казахстана практически не реализуется. В настоящее время в Казахстане отсутствует уполномоченный орган по проведению режимных наблюдений за СОЗ ни в одной среде. Хотя в «Концепции экологической безопасности РК на 2004...2015 годы» было указано об отсутствии в Казахстане объективной оценки загрязнения природной среды СОЗ.

Учитывая указанные выше обстоятельства, основной целью данной работы является изучение распространения опасных для природной среды СОЗ на заповедные территории Казахстана, в частности на водные объекты, находящиеся в этих зонах. Для выполнения поставленной цели, используя современные методы анализа, детально изучался уровень аккумуляции высокотоксичных поллютантов в воде и донных отложениях оз. Маркаколь и рек его бассейна. Учитывая важность данного Национального природного заповедника водные объекты, находящиеся на его территории, выбраны в качестве первого объекта исследования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Натурные исследования проводились в период с 03 июля по 13 августа 2023 г., согласно утвержденной программе исследова-

ний был проведен отбор проб воды и донных отложений в установленных точках по акватории озера, также пробы отбирались в местах впадения и выхода рек (речная вода) (рисунок 1).



Рис.1. Точки отбора проб воды и донных отложений

Всего было отобрано 13 проб воды и донных отложений по акватории озера и 7 проб речной воды. Отбор проб воды произведен из поверхностного слоя (0,5 м) (СТ РК ГОСТ Р 51592-2003). Алгоритм подготовки химического материала к анализу включает следующие этапы: в емкость с пробой воды вносят 50 мл экстрагента (п-Гексан), закрывают пробкой и встряхивают не менее 20...30 минут, затем переливают в делительную воронку и выдерживают до разделения фаз. Водный (нижний) слой сливают обратно в емкость. Экстракцию повторяют дважды. После экстракции и разделения проводят осушение экстракта с безводным сульфатом натрия (СТБ ИСО 6468-2003, 2004).

Образцы донных отложений отбирались с помощью дночерпателя Петерсена (ГОСТ 17.1.5.01-80). Для анализа был отобран верхний слой ила 5 см, характеризующий современный уровень аккумуляции ПХБ. 10 г мокрого грунта дважды экстрагировался по 25 минут 50 мл химически чистым п-гексаном

(п-Гексан). Дальнейший анализ ПХБ в гексановом экстракте проводился по аналогии с их определением (СТБ ИСО 6468-2003, 2004).

Анализ ПХБ в воде и донных отложениях 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 следующие: температура колонки 220 °С, температура испарителя 240 °С, температура детектора 300 °С, расход газа-носителя (азот «осч») – 38 мл/мин. В качестве стандарта использовали ГСО состава раствора Совола в гексане, представляющего собой смесь ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-138, ПХБ-153 и сумму тетра-, пента и гексахлорбифенилов.

Сущность метода заключается в экстракции ПХБ из пробы анализируемых проб воды и донных отложений органическим растворителем (п-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 конгенов ПХБ с использованием метода абсолютной градуировки.

В особую группу выделяют диоксиноподобные ПХБ 60, 77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189, содержание которых в промышленных смесях ПХБ составляет доли процента. В силу диоксиноподобного строения они обладают повышенной биологической активностью и для них установле-

ны токсические (диоксиновые) эквиваленты по отношению к самому опасному 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-*p*-диоксину.

Определение ПХБ в отобранных образцах проводилось в испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» Казахской Академии питания Аттестат аккредитации № KZ.T.02.E0177 от 06.05.2021 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ**

*ПХБ в речных водах.* Общая характеристика уровня загрязненности речных вод этими токсикантами приведена в таблице 1.

Таблица 1  
Общая характеристика загрязненности ПХБ речных вод, поступающих в озеро Маркаколь

Название реки	Сумма ПХБ, мкг/дм <sup>3</sup>	Количество конгенов		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
Урунхайка	0,024	9	1	2
Тополевка	0,020	8	1	2
Тихушка	0,034	13	1	1
Жирелька	0,029	17	4	1
Калжыр	0,092	17	2	2
Матабай	0,029	12	1	2

Суммарная концентрация ПХБ в речных водах менялась в интервале от 0,020 до 0,092 мкг/дм<sup>3</sup>. В целом содержание токсиканта в водах изученных водных объектов характеризуется значениями одного порядка. Однако, необходимо отметить, что более повышенное содержание токсиканта зафиксировано в воде р. Калжыр (0,092 мкг/дм<sup>3</sup>), которая вытекает из озера. В водах изученных водотоков обнаружено 30 индивидуальных конгенов ПХБ. В воде отдельных рек присутствовали от 8 до 17 конгенов (таблица 1), а количество высо-

котоксичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров оказалось довольно ограниченным. Среди зарегистрированных конгенов более высокая встречаемость характерна для ПХБ 70,76; 110 и ПХБ 129 по 63 %, ПХБ 118 и 128 по 33 %.

Важное значение имеет анализ материала по содержанию в составе ПХБ наиболее токсичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров. Более подробные сведения об этих конгенерах представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенов в водах изученных рек

Название реки	«Маркерные»				Диоксиноподобные		
	52	101	138	153	105	114	118
Урунхайка			0,002		0,002	0,003	
Тополевка				0,002		0,002	0,002
Тихушка				0,002			0,004
Жирелька	0,003	0,002	0,002	0,002			0,003
Калжыр		0,003	0,003		0,002		0,003
Матабай	0,002					0,002	0,004
Встречаемость в анализированных образцах, %	33	33	30	50	33	50	83

Из приведенных табличных данных видно, что в воде всех изученных рек зарегистрированы рассматриваемые формы конгенов. В водах рек Жирелька и Калжыр зарегистрированы высокотоксичные конгены в количестве 5 и 4 видов, соответственно. Из числа всех проанализированных образцов воды наибольшая встречаемость отмечена из «маркерных» конгенов для ПХБ 138 и 153 (50 %) и для ПХБ 114 (50 %), 118 (83 %) – из диоксиновых. Повышенные концентрации (0,003 и 0,004 мкг/дм<sup>3</sup>) зарегистрированы для конгенера ПХБ 118.

Как отмечалось ранее, в водах рассматриваемых водотоков зарегистрировано большое количество (30) конгенов ПХБ. По исследованиям ряда ученых (Агапкина Г.И. и др., 2011; Kannan N., 2000), большое число конгенов ПХБ в природных объектах является признаком наличия в данном регионе разнообразных по происхождению источников загрязнения природной среды изучаемыми токсикантами. Эти заключения авторов в известной мере находят подтверждение и по результатам исследований авторов (Амиргалиев Н.А., 2016).

Таким образом, на основе анализа полученных результатов следует отметить, что водные ресурсы всех изученных рек загрязнены ПХБ, уровень загрязнения вод отдельных водотоков характеризуется близкими значе-

ниями. Достаточно высокая встречаемость высокотоксичных конгенов ПХБ и повышенная концентрация в водах диоксиноподобных конгенов, очевидно, придают речным водам повышенный уровень токсичности.

*ПХБ в воде оз. Маркаколь.* По акватории оз. Маркаколь пробы воды для анализа ПХБ отобраны в 13 точках, общее число станций наблюдений за остальными физико-химическими параметрами – 20. На основании полученного аналитического материала, можно прежде всего отметить то, что ПХБ зарегистрированы во всех образцах воды, подверженных хроматографическому анализу. Концентрации токсиканта в пробах воды изменяются в пределах от 0,012 до 0,052 мкг/дм<sup>3</sup>, среднее ее значение составило 0,028 мкг/дм<sup>3</sup> (таблица 3). Анализ распространения ПХБ по акватории озера (рисунок 2) показал в целом равномерный характер их содержания. Более повышенное его значение 0,052 мкг/дм<sup>3</sup> отмечено в воде северного побережья озера (точка 4).

В образцах воды, подвергнутых хроматографическому анализу, идентифицировано в общей сложности 30 индивидуальных конгенов, а в отдельно взятых пробах количество конгенера менялось в пределах от 4-х до 16-и. Найденные конгены входили в гомологические группы от тетрахлорбифенилов до гептахлорбифенилов.

Таблица 3

Общая характеристика полученных данных по оз. Маркаколь (ПХБ в воде)

№ точек отбора проб	Сумма ПХБ, мкг/дм <sup>3</sup>	Количество конгенов		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
1	0,022	9	3	1
2	0,012	4	2	1
4	0,052	16	3	2
5	0,033	10	2	1
7	0,029	9	1	2
8	0,025	10	3	-
10	0,026	12	3	1
11	0,024	11	1	2
15	0,019	7	-	1
16	0,031	9	3	1
18	0,031	10	2	1
19	0,020	8	-	1
20	0,026	9	2	-
Среднее:	0,028			



Рис. 2. Распределение ПХБ в воде оз. Маркаколь

Встречаемость найденных конгенов в анализированных пробах менялась в интервале от 8 до 70 и 77 %. Наибольшая встречаемость принадлежит конгенеру ПХБ 97, который относится к гомологической группе пентахлорбифенилов. Некоторое возрастание суммарной концентрации ПХБ в пробах воды от 0,033 до 0,052 мкг/дм<sup>3</sup> вызвано за счет повышенного содержания этого конгенера, содержание которого в 5-и образцах воды составило от 0,005 до 0,011 мкг/дм<sup>3</sup>.

В группу пентахлорбифенилов наряду с ПХБ 97 входят также строго контролируемые в природных объектах «маркерный» конгенер ПХБ 101 и высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры ПХБ 104 и 118. С учетом

этих обстоятельств можно предположить, что конгенер ПХБ 97 обладает достаточно высокой степенью токсичности.

Из приведенного в таблице 4 материала видно, что концентрации найденных диоксиноподобных и «маркерных» конгенов близки между собой и характеризуется значениями одного порядка. Абсолютное содержание «маркерных» конгенов было в интервале от 0,001 до 0,005 мкг/дм<sup>3</sup>, а диоксиноподобных – от 0,002 до 0,004 мкг/дм<sup>3</sup>. «Маркерные» конгенеры отличаются более частой встречаемостью в анализированных образцах воды – от 46 до 64 %, а встречаемость диоксиноподобных в пределах 23...38 %.

Таблица 4

Концентрация и встречаемость «маркерных» и диоксиноподобных конгенов в воде оз. Маркаколь

Конгенеры	Встречаемость в анализированных пробах, %	Концентрация конгенов, мкг/дм <sup>3</sup>	
		пределы	среднее
«маркерные»			
ПХБ 52	46	0,001...0,004	0,002
ПХБ 101	46	0,002...0,004	0,002
ПХБ 138	54	0,002...0,004	0,003
ПХБ 153	46	0,002...0,005	0,003
диоксиноподобные			
ПХБ 105	38	0,002...0,003	0,002
ПХБ 114	23	0,002...0,003	0,003
ПХБ 118	38	0,002...0,004	0,002

Приведенные выше результаты исследования показали, что вода всей основной акватории оз. Маркаколь загрязнена ПХБ, распределение токсиканта по ней в целом равномерна.

*ПХБ в донных отложениях оз. Маркаколь.* Образцы донных отложений (ДО) отбирались на тех же 13 точках акватории озера, где были собраны и пробы воды. Суммарная концентрация ПХБ в ДО была в интервале 0,021...1,076 мкг/кг. В подавляющем большинстве случаев суммарное содержание токсиканта находилось в пределах от 0,025 до 0,209 мкг/кг, лишь в образцах, отобранных на точках 2, 11 и 19 зарегистрированы сравнительно повышенные концентрации ПХБ в количестве соответственно 0,737; 1,076 и 0,428 мкг/кг, среднее содержание токсиканта составило 0,210 мкг/кг (таблица 5).

Общая картина распространения ПХБ в ДО всей акватории озера показана на рисунке 3. Повышенные концентрации токсиканта зарегистрированы в ДО пяти точек, расположенный в основном на южном и северном побережьях озера – это точки 2, 4, 11, 18 и 19. Максимальное содержание ПХБ (1,076 мкг/кг) обнаружено в ДО точки 11, расположенной непосредственно в зоне влияния стока р. Матабай, вода которой, как было показано в таблице 1, не отличалась высоким содержанием ПХБ (0,029 мкг/дм<sup>3</sup>).

Можно лишь отметить, что на точке 4 было зарегистрировано повышенное содержание ПХБ и в воде, но корреляции между их содержанием в воде и донных отложениях  $r = -0,4$  слабая отрицательная зависимость, которая указывает на отсутствие связи.

Таблица 5

Общая характеристика уровня загрязненности ПХБ ДО оз. Маркаколь

№ точек отбора проб	Сумма ПХБ, мкг/кг	Количество конгенов		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
1	0,035	13	4	1
2	0,737	7	2	1
4	0,053	10	2	-
5	0,021	9	1	1
7	0,033	8	1	-
8	0,027	9	1	1
10	0,028	10	3	1
11	1,076	10	1	-
15	0,026	12	2	1
16	0,029	12	-	1
18	0,209	11	1	1
19	0,428	13	1	-
20	0,025	10	1	-
Среднее:	0,210			



Рис. 3. Распределение ПХБ в ДО оз. Маркаколь

В общей сложности в ДО зарегистрировано 29 индивидуальных конгенов ПХБ. В отдельных образцах количество их изменялось от 7 до 13. Более частая встречаемость в ДО характерна для конгенов ПХБ 146, 153 в 54 % анализированных проб, конгены ПХБ 66, 95; 82 и 171 в 69 %, а конгенер ПХБ 74 обнаружен в 85 % собранных образцов. Указанные конгены входят в гомологические группы, пента- и гексахлорбифенилы, а конгенер 171 – гептахлорбифенилы.

Как известно, уровень токсичности объектов, загрязненных ПХБ, зависит не толь-

ко от общей концентрации токсиканта в ДО, почве или воде, но и от присутствия среди конгенов (изомеров) более токсичных их форм. К ним относятся «маркерные» высокотоксичные диоксиноподобные конгены. Из числа первых зарегистрированы конгены ПХБ 52, 101, 138 и 153, а из диоксиноподобных конгены – ПХБ 105, 114, а ПХБ 118 в ДО отсутствовал. Общие сведения о концентрациях этих конгенов в ДО и об их встречаемости в анализируемых образцах приведены в таблице 6.

Таблица 6  
Концентрация и встречаемость «маркерных» и диоксиноподобных конгенов в ДО оз. Маркаколь

Конгены	Встречаемость в анализированных пробах, %	Концентрация конгенов, мкг/кг	
		пределы	среднее
«маркерные»			
ПХБ 52	38	0,002...0,004	0,002
ПХБ 101	38	0,002...0,004	0,003
ПХБ 138	23	0,002...0,004	0,003
ПХБ 153	54	0,002...0,005	0,003
диоксиноподобные			
ПХБ 105	38	0,002...0,004	0,003
ПХБ 114	23	0,003...0,005	0,004

Из приведенных данных видно, что более высокий уровень встречаемости в собранных образцах принадлежит «маркерному» конгену ПХБ 153. Интервалы колебания концентраций «маркерных» и диоксиноподобных конгенов в целом близкие, максимальные значения в основном достигают 0,004 и 0,005 мкг/дм<sup>3</sup>, а средние 0,002...0,003 мкг/дм<sup>3</sup>. В распространении этих конгенов по акватории дна озера видимых закономерностей не обнаруживаются.

Полученные результаты дают основание отметить, что ДО озера, как и вода, загрязнены ПХБ. Концентрация токсиканта существенно меняется на отдельных участках акватории озера, она заметно повышена в ДО северного и южного побережья водоема. Более равномерно распределяются по акватории озера «маркерные» и диоксиноподобные конгены. В бассейне этого заповедного озера не обнаружены источники промышленного загрязнения, которые

могли бы приносить в окружающую среду района изучаемые токсичные вещества.

Интерес представляет сравнение уровня загрязнения ПХБ изучаемых водных объектов, находящихся в заповедной зоне, с аналогичными данными, полученными авторами для некоторых водоемов и водотоков Республики. Для удобства сопоставимые данные сведены в таблицу 7.

Как следует из приведенных данных, суммарные концентрации ПХБ в воде рек и оз. Маркаколь сопоставимы с суммарными показателями содержания токсиканта в водах р. Ертис у г. Оскемен и Буктырминского водохранилища у плотины за 2018 г. В водах почти всех остальных водоемов и водотоков уровень загрязнения ПХБ на порядок выше. Наблюдаемые различия, кажется, вполне объяснимы, если иметь в виду, что бассейн оз. Маркаколь расположен в заповедной зоне и в данном регионе нет каких-либо существенных производственных источников загрязнения ПХБ.

Таблица 7

Показатели уровня загрязненности ПХБ воды и ДО некоторых водных объектов Казахстана

Водный объект, год исследования	Суммарная концентрация ПХБ, мкг/дм <sup>3</sup>	Литературные источники
Реки Ертис у г. Оскемен, 2018 г.	0,019...0,096	(Амиргалиев Н.А. и др., 2021)
Бухтырминское вдхр. у плотины, 2018 г.	0,0...0,073	---
Река Иле, вода, 2019 г.	0,210...0,516	---
---, донные отложения, 2015 г., мкг/кг	1,39	(Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т., Бектурсунов К.Е., 2017)
Капшагайское вдхр., 2020 г.	0,130...0,353	(Amirgaliyev N. et al., 2021)
Озеро Балкаш (южное побережье), 2020 г.	0,155...0,428	(Амиргалиев Н.А. и др., 2020)
Река Сырдарья, 2022 г.	0,041...1,080	(Amirgaliyev N. et al., 2023)
Озера дельты Сырдарьи, 2022 г.	0,324...0,648	---
Малое Аральское море, 2022 г.	0,250...0,362	---
Река Жайык, 2012 г.	0,930...1,290	(Амиргалиев Н.А., 2015) (Amirgaliyev N. et al., 2022)
Бассейн оз. Маркаколь, реки, 2023 г.	0,020...0,092	---
Озеро Маркаколь, вода	0,012...0,052	---
---, донные отложения, мкг/кг	0,021...1,076	---

Вместе с тем результаты исследования показывают загрязненность водных ресурсов озер и рек этими опасными ксенобиотиками, накопление их в донных осадках озера в достаточно высоких концентрациях. И возникает достаточно серьезный вопрос – какими путями поступают ПХБ в эту зону, имеет ли место накопление этих ядовитых соединений во флоре и фауне озера и рек. Данный вопрос, очевидно, вызовет озабоченность и у представителей природоохранных органов Республики.

Назвать конкретную причину загрязнения ПХБ этой заповедной зоны сложно. Однако, основываясь на результатах исследований проблем СОЗ, в т.ч. и ПХБ, ученых ряда зарубежных стран, можно с определенной уверенностью предположить о главной роли в этом процессе атмосферного переноса ксенобиотиков с территории г. Оскемен, находящегося на расстоянии 400 км от озера.

Известно, что одной из основных «горячих точек» из восьми выявленных в РК является территория г. Оскемен, где отходы производства Усть-Каменогорского конденсаторного завода (УККЗ) (остатки трихлордифенила) и слой грунта, взятого с территории

завода в 1989...1991 гг., были захоронены в пруде-накопителе. В накопителе в настоящее время находится 60000 т сильно ПХБ-загрязненного ила и 80000 т загрязненной воды. В районе завода выявлена площадь до 1200 га среднезагрязненных грунтов. В период СССР на этом заводе в течение многих лет конденсаторы заполнялись ПХБ (Беркинбаев Г.Д., 2009).

Согласно нашим исследованиям (Амиргалиев Н.А., 1997) в 1994 г. в воде р. Ертис у г. Оскемен содержание ПХБ составило 44,0 мкг/дм<sup>3</sup>, а средняя концентрация ПХБ в воде горной части Бухтырминского водохранилища была на уровне 0,609 мкг/дм<sup>3</sup>, озерной – 0,478 мкг/дм<sup>3</sup>. В работе (Tatykhanova G.S., 2014) приводятся сведения о концентрации ПХБ в воде р. Ертис у г. Оскемен на уровне 18,06 мкг/дм<sup>3</sup>.

Наше предположение об атмосферном переносе ПХБ в бассейн оз. Маркаколь из высокозагрязненных территории в г. Оскемен основано на результатах исследований целого ряда ученых ближнего и дальнего зарубежья.

Согласно (Филенко О.Ф. и др., 2007) содержание ПХБ в объектах водной экосистемы Арктической системы характеризуется

следующими данными: в снеге – 0,086 нг/л, морской воде – 0,007 нг/л, зоопланктоне – 0,11 мг/кг, жире трески, нерпы и белого медведя – 0,023; 0,55 и 5,4 мг/кг, соответственно. Аналогичные сведения имеются и в работах других зарубежных авторов (Meijer S.N. et al., 2003; Oskenden W.A. et al., 2003).

Почти все виды стойких органических загрязнителей, в том числе ПХБ, обнаружены и в арктических пресноводных объектах архипелага Шпицберген, удаленного от локальных источников загрязнения этими поллютантами (Лалетин Н.А., 2013). Это показательное подтверждение выводов, сделанных (Barrie L.A., 1986), о существенной роли трансграничного переноса СОЗ атмосферными осадками и выпадающими аэрозолями. В работе показан также характер трансформации ПХБ и других представителей СОЗ по течению небольшого по длине ручья Васстак.

Основным поставщиком ПХБ в Мировой океан до 80 % также является атмосфера (Панин М.С., 2011). По результатам исследований ряда лет (Mamontov A.A. et al., 2000; Мамонтов А.А. и др., 2015) установлено, что главным постоянно действующим источником воздушной эмиссии ПХБ в регионе оз. Байкал является промышленная зона г. Усолье-Сибирское, расположенного в юго-западной оконечности озера. Под влиянием локального атмосферного переноса от Усолье-Сибирского происходит увеличение концентрации ПХБ (50 нг/см<sup>2</sup>) отмечены в почвах центральной части Северного Байкала. Также установлено, что в результате постоянного выноса в атмосферу из данного источника концентрация ПХБ в воде Южного Байкала почти в 10 раз выше, чем в воде северной части.

Таким образом, приведенные выше материалы исследований в целом дают основание считать, что продолжается распространение ПХБ из существующих «горячих точек» на обширные территории Республики, включая заповедные зоны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование установило загрязненность ПХБ водных ресурсов оз. Маркаколь, всех основных рек его бассейна, а также донных осадков озера. Выявлен различный уровень загрязнения токсичными сое-

динениями воды отдельных частей акватории озера и изученных рек, что указывает на неравномерность воздействия источников загрязнения на разные участки бассейна. Путем детального изучения распространения ПХБ в воде и донных осадках озера выявлены наиболее загрязненные участки в бассейне.

В воде всех изученных водных объектов и в донных отложениях озера зафиксированы 30 индивидуальных конгенов ПХБ, среди них довольно часто присутствуют строго контролируемые в природных объектах «маркерные» и высокотоксичные диоксиноподобные конгены. Из числа последних широкую распространенность имеет конгенер ПХБ 118. По исследованиям ряда ученых ближнего и дальнего зарубежья, присутствие такого большого количества конгенов (30 форм) в природных объектах является признаком воздействия на них разнообразных по происхождению источников загрязнения изучаемыми токсикантами.

Учитывая то, что основным путем распространения ПХБ на дальние расстояния от источника является атмосферный перенос, а также имеющиеся научные результаты в этой области, сделано предположение о том, что загрязнение ПХБ водных объектов данного бассейна, находящегося в заповедной территории, является результатом атмосферного их переноса из высоко загрязненной ими территории г. Оскемен.

Результаты выполненных комплексных исследований в данном бассейне указывают на целесообразность проведения аналогичного эколого-токсикологического изучения на других заповедных территориях Казахстана, а также определить ряд наиболее важных вопросов, подлежащих изучению, в условиях наличия различных источников загрязнения природных объектов, в т.ч. водных ресурсов на территории Республики.

*Работа выполнена в рамках грантового проекта ИРН AP14870595 «Мониторинг состояния и оценка уровня загрязнения микро- и макропластиком водной среды озера Маркаколь».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад «Живая планета». <https://livingplanet.panda.org/ru/about-the-living-planet-report> (дата обращения 08.07.2022 г.)

2. Государственный климатический кадастр. [https://meteo.kazhydromet.kz/climate\\_kadastr](https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr) (дата обращения 25.01.2024 г.)
3. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. – Стокгольм, 2001. – 53 с.
4. Ishankulov M.Sh. 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: AK/NATO Publishing Unit. Editors: E. Mehmetli and B. Koumanova, 2008. – P. 387-403.
5. СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 Вода. Общие требования к отбору проб. Утвержден и введен в действие приказом Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан от 07 ноября 2003 г. №380. – Астана, 2003. – 73 с.
6. СТБ ИСО 6468-2003. Качество воды. Определение некоторых хлорорганических инсектицидов, полихлорированных бифенилов и хлорбензолов методом газовой хроматографии после экстракции жидкость-жидкость. Утв. 31.10.2003 Госстандарт Республики Беларусь. – Минск: БелГИСС, 2004. – 31 с.
7. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М., Изд-во стандартов, 1980. – 5 с. Актуализирован 01.01.2021 г.
8. Агапкина Г.И., Ефименко Е.С., Бродский Е.С., и др. Содержание и распределение полихлорированных бифенилов в почвах Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 39-45.
9. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds, – 2000. – Vol. 3. – 377 p.
10. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле-Балкашского бассейна. – Алматы: ТОО «Нурай Принт Сервис», 2016. – 192 с.
11. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Мұсақұлқызы А., Бурлибаева Д.М., Исмуханова Л.Т., Кулбекова Р.А. Водная безопасность Республики Казахстан: Трансграничные бассейны рек Иле и Ертис. Качество речных вод. Том V. Качество вод. – Алматы, 2021. – Т. V. – 162 с.
12. Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т., Бектурсунов К.Е. Оценка уровня аккумуляции полихлорированных бифенилов в воде и донных отложениях рек бассейна озера Балхаш // Журнал «Вода Magazine». Водоснабжение. Водоотведение. Теплоснабжение. – М. 2017. – №1(113). – С. 50-53.
13. Amirgaliyev N., Opp C., Askarova M., Ismukhanova L., Madibekov A., Zhadi A. Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea–Syrdarya Basin // Applied Sciences (Switzerland). 2023, 13, 11453. <https://doi.org/10.3390/app132011453>
14. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в воде трансграничных бассейнов Казахстана // Труды IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов»(15-18 сентября 2015 г.). – М., 2015. – С. 133–135.
15. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R. 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). – 2022. – 12(4). – P. 2059. <https://doi.org/10.3390/app12042059>
16. 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.
17. Амиргалиев Н.А. Гидрохимические показатели и уровень пестицидного загрязнения водной среды Бухтарминского водохранилища // Эко-система и рыбные ресурсы водоемов Казахстана. – Алматы: Изд-во «Бастау», 1997. – С. 176-182.
18. Tatykhanova G.P., Kabdrakhmanova P.K., Kudaibergenov P.E. PCB-contaminated area of Ust-Kamenogorsk city (East Kazakhstan): Analysis of water, soil, bottom sediments and biota // The international workshop «Sustainable management of toxic pollutants in Central Asia: towards a regional ecosystem model for environmental security». Proceedings NATO SfP-983931 Project. – Almaty, 2014. – P. 95-101.
19. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. – М.: Колос, 2007. – 142 с.
20. Meijer P.N., Ockenden W.A., Sweetman A. et al. // II Environ. Sci. Technol. – 2003. – № 37. – 667 p.
21. Ockenden W.A., Breivik K., Meijer P.N. // II Environmental Pollution. 2003. – № 121. – 75 p.
22. Лалетин Н.А. Миграция стойких органических загрязнителей в пресноводных объектах о. Западный Шпицберген (оз. Биенда-стемме и руч. Васстак) // Вода: химия и экология. – 2013. – № 2. – С. 109-114.
23. Barrie L.A. Arctic air pollution: An overview of current knowledge // Atmos. Environ. – 1986. – Vol. 20. – P. 643-663.
24. Панин М.С. Загрязнение окружающей среды. – Алматы: Изд-во «Раритет», 2011. – 668 с.
25. Mamontov A.A., Mamontova E.A., Tarasova E.N., McLachlan M.P. // Environmental Science and Technology. – 2000. – № 34. – P. 741-747.
26. Мамонтов А.А., Тарасов Е.Н., Мамонтова Е.А., Кербер Е.В. Изменение содержания полихлорированных бифенилов в почвах прибрежной зоны озера Байкал в 1997-2012 гг. // Экологическая химия. – 2015. – Т. 24, № 3. – С. 129-136.

## REFERENCES

1. Doklad «Zhivaya planeta». <https://livingplanet.panda.org/ru/about-the-living-planet-report> (data obrashcheniya 08.07.2022 g.)
2. Gosudarstvennyi klimaticheskii kadastr. [https://meteo.kazhydromet.kz/climate\\_kadastr](https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr) (data obrashcheniya 25.01.2024 g.)
3. Stokgol'mskaya konventsiya o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh. – Stokgol'm, 2001. – 53 p.
4. Ishankulov M.Sh. 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: AK/NATO Publishing Unit. Editors: E. Mehmetli and B. Koumanova, 2008. – P. 387-403.
5. ST RK GOST R 51592-2003 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. Utverzhdn i vveden v deistvie prikazom Komiteta po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Ministerstva industrii i trgovli Respubliki Kazakhstan ot 07 noyabrya 2003 g. №380. – Astana, 2003. – 73 p.

6. STB ISO 6468-2003. Kachestvo vody. Opredelenie nekotorykh khlororganicheskikh insektivov, polikhlorirovannykh bifenilov i khlorbenzolov metodom gazovoi khromatografii posle ekstratsii zhidkost'-zhidkost'. Utv. 31.10.2003 Gosstandart Respubliki Belarus'. – Minsk: BelGISS, 2004. – 31 p.
7. GOST 17.1.5.01-80 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozhenii vodnykh ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost'. – M., Izd-vo standartov, 1980. – 5 p. Aktualizirovan 01.01.2021 g.
8. Agapkina G.I., Efimenko E.P., Brodskii E.P., i dr. Soderzhanie i raspredelenie polikhlorirovannykh bifenilov v pochvakh Moskvy // Vestn. Mosk. un-ta. Seriya 17. Pochvovedenie. – 2011. – № 1. – P. 39-45.
9. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds, – 2000. – Vol. 3. – 377 p.
10. Amirgaliev N.A. Polikhlorirovannye bifenily v vodnoi ekosisteme Ile-Balkashskogo basseina. – Almaty: TOO «Nurai Print Servis», 2016. – 192 p.
11. Amirgaliev N.A., Madibekov A.P., Mұsaқықызы A., Burlibaeva D.M., Ismukhanova L.T., Kulbekova R.A. Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazakhstan: TransgranichnyebasseinyrekIleiErtip.Kachestvorechnykh vod. Tom V. Kachestvo vod. – Almaty, 2021. – T. V. – 162 p.
12. Amirgaliev N.A., Ismukhanova L.T., Bektursunov K.E. Otsenka urovnya akkumulirovaniya polikhlorirovannykh bifenilov v vode i donnykh otlozheniyakh rek basseina ozera Balkhash // Zhurnal «Voda Magazine». Vodonasabzhenie. Vodoootvedenie. Teplosabzhenie. – M. 2017. – №1(113). – P. 50-53.
13. Amirgaliev N., Opp C., Askarova M., Ismukhanova L., Madibekov A., Zhadi A. Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea–Syrdarya Basin // Applied Sciences (Switzerland). 2023, 13, 11453. <https://doi.org/10.3390/app132011453>
14. Amirgaliev N.A. Polikhlorirovannye bifenily v vode transgranichnykh basseinov Kazakhstana // Trudy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye problemy vody i vodnykh resursov»(15-18sentyabrya2015g.).–M.,2015.–P.133–135.
15. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R. 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). – 2022. – 12(4). – R. 2059. <https://doi.org/10.3390/app12042059>
16. Berkinbaev G.D., Fedorov G.V. Problemy stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v Kazakhstane // Vestnik KazNU im. al'-Farabi. Seriya ekologicheskaya. – Almaty, 2009. – № 2 (25). – P. 3-8.
17. Amirgaliev N.A. Gidrokhimicheskie pokazateli i uroven' pestitsidnogo zagryazneniya vodnoi sredy Bukhtarminskogo vodokhranilishcha // Ekosistema i rybnye resursy vodoemov Kazakhstana. – Almaty: Izd-vo «Bastau», 1997. – P. 176-182.
18. Tatykhanova G.P., Kabdrakhmanova P.K., Kudaibergenov P.E. PCB-contaminated area of Ust-Kamenogorsk city (East Kazakhstan): Analysis of water, soil, bottom sediments and biota // The international workshop «Sustainable management of toxic pollutants in Central Asia: towards a regional ecosystem model for environmental security». Proceedings NATO SfP-983931 Project. – Almaty, 2014. – P. 95-101.
19. Filenko O.F., Mikheeva I.V. Osnovy vodnoi toksikologii. – M.: Kolos, 2007. – 142 p.
20. Meijer P.N., Ockenden W.A., Sweetman A. et al. // II Environ. Sci. Technol. – 2003. – № 37. – 667 p.
21. Ockenden W.A., Breivik K., Meijer P.N. // II Environmental Pollution. 2003. – № 121. – 75 p.
22. Laletin N.A. Migratsiya stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v presnovodnykh ob'ektakh o. Zapadnyi Shpitsbergen (oz. Bienda-stemme i ruch. Vasstak) // Voda: khimiya i ekologiya. – 2013. – № 2. – P. 109-114.
23. Barrie L.A. Arctic air pollution: An overview of current knowledge//Atmop. Environ.–1986.–Vol.20.–P.643-663.
24. Panin M.P. Zagryaznenie okruzhayushchei sredy. – Almaty: Izd-vo «Raritet», 2011. – 668 p.
25. Mamontov A.A., Mamontova E.A., Tarasova E.N., McLachlan M.P. // Environmental Science and Technology. – 2000. – № 34. – P. 741-747.
26. Mamontov A.A., Tarasov E.N., Mamontova E.A., Kerber E.V. Izmenenie soderzhaniya polikhlorirovannykh bifenilov v pochvakh pribrezhnoi zony ozera Baikal v 1997-2012 gg.// Ekologicheskaya khimiya. – 2015. – T. 24, № 3. – P. 129-136.

## МАРҚАКӨЛ КӨЛІ ЖӘНЕ ОҒАН ҚҰЙЫЛАТЫН ӨЗЕНДЕРДІҢ СУ ЭКОЖҮЙЕСІНДЕГІ ПОЛИХЛОРЛЫ БИФЕНИЛДЕР

**Н.А. Амиргалиев** *д.ғ.д., профессор*, **А.С. Мадибеков** *PhD, қауымдастырылғын профессор*,  
**Л.Т. Исмуханова\*** *д.ғ.к.*, **А.Ө. Жәди**, **Б.М. Султанбекова**

*«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*  
*E-mail: [ismukhanova@ingeo.kz](mailto:ismukhanova@ingeo.kz)*

Мақалада Марқакөл көлі мен оның алабындағы өзендердің сулары мен шөгінділеріндегі полихлорлы бифенилдермен (ПХБ) ластану деңгейін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Тұрақты органикалық ластағыштар (ТОЛ) туралы жаһандық Стокгольм Конвенциясының талаптарына сәйкес ҚР қабылдаған міндеттерді іске асыру мақсатында республиканың су айдындары мен су ағындарында осы қауіпті ксенобиотиктердің жинақталуын

және таралуын зерделеудің маңыздылығы туралы қысқаша ақпарат ұсынылған. Жүргізілген зерттеулер, ең алдымен, қорық аумағында орналасқан көлдер мен өзендердің су ресурстары мен шөгінділерінің ластануын көрсетті. Токсикант концентрациясының судағы да, шөгінділердегі де көл акваториясы бойынша біркелкі таралмауы анықталды. Токсиканттың көбірек мөлшері көлден ағып жатқан Қалжыр өзенінің суында тіркелген. Көл және өзен суларында 30 жеке ПХБ конгенерлері табылды, олардың арасында өте улы диоксин тәрізді және «маркер» конгенерлері бар. Су ресурстарында өте жоғары уыттылығы бар басқа конгенерлері де табылды. Планетада токсиканттардың таралу мәселелері саласындағы алыс және жақын шетел ғалымдарының ғылыми нәтижелеріне сүйене отырып, осы улы қосылыстардың ПХБ ластануы жоғары аумағынан осы қорық аймағына атмосфералық тасымалдауымен келуі туралы ұсыныс жасалды.

**Түйін сөздер:** полихлорлы бифенилдер, уыттылық, концентрация, туыстар, атмосфералық тасымалдау.

## POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE AQUATIC ECOSYSTEM OF THE PROTECTED MARKAKOL LAKE AND ITS TRIBUTARIES

**N. Amirgaliev** *Doctor of Geographical Sciences, Prof.*, **A. Madibekov** *PhD, Associate Professor*, **L. Ismukhanova\*** *Candidate of Geographical Sciences*, **A. Zhadi, B. Sultanbekova**

*JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan  
E-mail: ismukhanova@ingeo.kz*

The article presents the results of the study of polychlorinated biphenyls (PCBs) pollution of water and bottom sediments of Markakol Lake and rivers of its basin. Brief information about the importance of studying the accumulation and distribution of these dangerous xenobiotics in water bodies and watercourses of the republic in order to realize the tasks adopted by the Republic of Kazakhstan in accordance with the requirements of the global Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) is presented. The conducted research first of all showed pollution of water resources and bottom sediments of the lake and rivers located in the protected area. Uneven distribution of toxicant concentration over the lake water area both in water and bottom sediments was revealed. The highest toxicant concentrations were registered in the water of the Kalzhyr River outflowing from the lake. In lake and river waters, 30 individual PCB congeners were detected, among which highly toxic dioxin-like and «marker» congeners are present. Other congeners with rather high toxicity were also found in water resources. Based on the scientific results of scientists from far and near abroad in the field of problems of distribution of these toxicants on the planet, the hypothesis about atmospheric transfer of these toxic compounds to this protected zone from highly PCB-polluted territories was made.

**Keywords:** polychlorinated biphenyls, toxicity, concentration, congeners, atmospheric transport.

### Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

**Амиргалиев Нариман Амиргалиевич** – профессор, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *namirgaliev@mail.ru*

**Мадибеков Азамат Сансызбаевич** – ассоциированный профессор, PhD, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *madibekov@mail.ru*

**Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна** – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, [laura.ismukhanova@mail.ru](mailto:laura.ismukhanova@mail.ru)

**Жәди Асхат Өмірзақұлы** – докторант 2 курса Казахского национального аграрного исследовательского университета, ул. Пушкина, 99, Алматы, [askhat.zhadi@mail.ru](mailto:askhat.zhadi@mail.ru)

**Султанбекова Ботакоз Маратовна** – младший научный сотрудник, лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, [botakoz.sultanbekova.91@mail.ru](mailto:botakoz.sultanbekova.91@mail.ru)

**Амиргалиев Нариман Амиргалиевич** – профессор, география ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және қоршаған орта токсикологиясы зертханасының бас ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, [namirgaliev@mail.ru](mailto:namirgaliev@mail.ru)

**Мадибеков Азамат Сансызбаевич** – PhD, қауымдастырылғын профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының меңгерушісі, жетекші ғылыми қызметкер, Пушкин к-і, 99, Алматы, [madibekov@mail.ru](mailto:madibekov@mail.ru)

**Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна** – география ғылымдарының кандидаты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және қоршаған орта токсикологиясы зертханасының аға ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, [laura.ismukhanova@mail.ru](mailto:laura.ismukhanova@mail.ru)

**Жәди Асхат Өмірзақұлы** – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің 2 курс докторанты, Пушкин к-і, 99, Алматы, [askhat.zhadi@mail.ru](mailto:askhat.zhadi@mail.ru)

**Султанбекова Ботакоз Маратовна** – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, [botakoz.sultanbekova.91@mail.ru](mailto:botakoz.sultanbekova.91@mail.ru)

**Nariman Amirgaliyev** – Professor, Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology of JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, [namirgaliev@mail.ru](mailto:namirgaliev@mail.ru)

**Azamat Madibekov** – Associate Professor, PhD, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, [madibekov@mail.ru](mailto:madibekov@mail.ru)

**Laura Ismukhanova** – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology of JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, [laura.ismukhanova@mail.ru](mailto:laura.ismukhanova@mail.ru)

**Askhat Zhadi** – 2nd year doctoral student of the Kazakh National Agrarian Research University, 99, Pushkin str., Almaty, [askhat.zhadi@mail.ru](mailto:askhat.zhadi@mail.ru)

**Botakoz Sultanbekova** – junior researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, [botakoz.sultanbekova.91@mail.ru](mailto:botakoz.sultanbekova.91@mail.ru)

### **Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution**

**Амиргалиев Нариман Амиргалиевич** – разработка концепции, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Мадибеков Азамат Сансызбаевич** – разработка концепции, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна** – проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Жәди Асхат Өмірзақұлы** – проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Султанбекова Ботакоз Маратовна** – проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Амиргалиев Нариман Амиргалиевич** – тұжырымдаманы әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Мадибеков Азамат Сансызбаевич** – тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна** – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Жәди Асхат Өмірзақұлы** – зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Султанбекова Ботакоз Маратовна** – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Nariman Amirgaliyev** – concept development, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

**Azamat Madibekov** – concept development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

**Laura Ismukhanova** – conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

**Askhat Zhadi** – conducting a research, preparing and editing the text, visualization

**Botakoz Sultanbekova** – conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization