

Оригинальная статья

УДК 504.4.054

<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.482-498>

Особенности загрязнения вод дельты р. Волги хлорорганическим пестицидом ДДТ

В.О. Татарников, Д.Р. Светашева✉

ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, Россия

✉ svetashevadr@yandex.ru

Аннотация

Представлены результаты исследования содержания ДДТ в водотоках дельты реки Волги. На основе данных государственного экологического мониторинга за 1985–2022 гг. определены концентрации ДДТ и уровень загрязнения вод. Установлены основные источники загрязнения дельты р. Волги пестицидом и рассчитаны экологические риски. Для анализа данных использованы стандартные статистические методы. Для каждого периода установлен диапазон концентраций ДДТ и выявлена его высокая пространственная и временная неоднородность. Показано, что содержание ДДТ за последние десятилетия в среднем не превышает регламентируемое нормативами качества среды. Выделены районы с наибольшей степенью загрязненности ДДТ и установлено, что основным источником загрязнения дельты является транзитный сток. Анализ экологического риска загрязнения ДДТ не выявил опасений, однако подтверждена необходимость регулярных наблюдений за содержанием ДДТ в водотоках дельты р. Волги.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, ДДТ, дельта р. Волги, экологический риск, допустимые концентрации, коэффициент вариации, источники загрязнения, транзитный сток.

Благодарности. Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук, ученому секретарю ФГБУ «КаспМНИЦ» Дегтяревой Ларисе Вячеславне.

Для цитирования: Татарников В.О., Светашева Д.Р. Особенности загрязнения вод дельты р. Волги хлорорганическим пестицидом ДДТ // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2025. Т. 167, кн. 3. С. 482–498. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.482-498>.

Original article

<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.482-498>

**Pollution of the waters in the Volga River delta
with organochlorine pesticide DDT**

V.O. Tatarnikov, D.R. Svetasheva✉

Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, Russia

✉svetashevadr@yandex.ru

Abstract

This article describes the results of a study on DDT content in the watercourses of the Volga River delta. Based on the data from the long-term state environmental monitoring in 1985–2022, DDT concentrations in the water of the investigated region were determined, as well as the main sources and levels of DDT pollution. The associated environmental risks were assessed. All data were processed using standard statistical methods. For each period, a range of DDT concentrations was established, with significant spatial and temporal variations. It was demonstrated that, on average, DDT concentrations in recent decades have remained in compliance with general environmental quality standards. The areas with the highest levels of DDT pollution were identified. The transit runoff was found to be the primary source of DDT pollution. The environmental risk analysis revealed that the impact of DDT pollution in the Volga River delta is of no concern, but systematic monitoring is needed to manage it effectively.

Keywords: organochlorine pesticides, DDT, Volga River delta, environmental risk, permissible concentrations, coefficient of variation, sources of pollution, transit runoff

Acknowledgments. Thanks are due to Larisa V. Degtyareva (Cand. Sci. (Biology), Academic Secretary of Caspian Marine Scientific Research Center).

For citation: Tatarnikov V.O., Svetasheva D.R. Pollution of the waters in the Volga River delta with organochlorine pesticide DDT. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2025, vol. 167, no. 3, pp. 482–498. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.482-498>. (In Russian)

Введение

Хлорорганические пестициды (ХОП) относятся к числу стойких органических соединений, которые широко применялись в сельском хозяйстве в середине прошлого века [1]. Одним из представителей ХОП является ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан) ($(\text{ClC}_6\text{H}_4)_2\text{CHCCl}_3$), который активно использовали в прошлом на территориях сельхозугодий и многолетних насаждений как средство химической защиты от вредителей сельскохозяйственных культур. Кроме того, в процессе использования была установлена его эффективность при борьбе с трансмиссивными заболеваниями, например, малярией [2]. Промышленный синтез ДДТ в СССР был налажен с 1947 года [3]. Подавляющее большинство предприятий, выпускающих ДДТ, было сосредоточено на территории водосборного бассейна р. Волги [4].

ХОП обладают высоким токсическим эффектом для водных организмов, в частности, ДДТ способен накапливаться в живых организмах по трофическим цепям. Увеличение степени загрязнения поверхностных вод пестицидами и усиление их токсического эффекта наблюдается в присутствии синтетических поверхностно-активных веществ и нефтяных углеводородов. Синергетический токсический эффект ХОП и нефтяных углеводородов подтвержден в исследованиях осетровых рыб в Каспийском море [1, 5, 6].

Уже с 1950-х гг. в СССР стали ограничивать применение ДДТ [7], а к 1970 г. ввели полный запрет на использование ДДТ в сельском хозяйстве [8]. В 2001 году была подписана Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях [4], которая запрещает применение ХОП. В Российской Федерации эта конвенция была ратифицирована в 2011 г.

В настоящее время в условиях запрета использования пестицидов появление их следов в окружающей среде, в том числе, в водных объектах, обусловлено наличием точечных и диффузных источников [9]. Точечными источниками называют, например, шламонакопители химических предприятий, производивших ХОП в прошлом, склады устаревших пестицидов, пункты сбора и утилизации отходов и т. д. Диффузными или рассеянными источниками остатков этих токсикантов являются сельскохозяйственные территории. В водную среду пестициды попадают в растворенной форме или в составе коллоидов в результате вымывания, эрозии и выщелачивания почв. Пестициды обладают высокой персистентностью. Период их полного распада в зависимости от различных физико-химических факторов среды (окисление, фотолиз, гидролиз, термолиз), может варьироваться от 22 до 152 лет. Кроме того, пестициды, адсорбированные в донных отложениях водотоков, могут стать источником вторичного загрязнения водной среды при изменении условий окружающей среды, например, при увеличении скорости течения (увеличении взмучивания), повышении щелочности среды и/или повышении температуры [9].

При исследовании районов, подвергавшихся в прошлом противомалырийной обработке, установлено, что в почвах прибрежных территорий, которые в период половодья оказываются занятыми разливами, ХОП сохраняются недолго. Это свидетельствует об интенсивном вымывании пестицидов из почв и загрязнении водоемов, что может приводить к повышенному содержанию ХОП по сравнению с фоновым уровнем. В более поздних исследованиях [1], напротив, говорится, что доля ХОП, которая выносится в водные объекты поверхностным стоком, не столь велика и достигает 18 % [9]. Смыв и выщелачивание пестицидов из загрязненных почв зависят от особенностей почвенно-климатических условий [1, 10]. Следует отметить, что среди мер, направленных на снижение загрязненности поверхностных вод ксенобиотиками, выделяют поддержание загрязненных почв в затопленном или в водонасыщенном состоянии [1].

В настоящее время на территории водосборного бассейна р. Волги располагается около половины сельскохозяйственного производства России [6]. При этом в почве сельхозугодий до сих пор регистрируются остаточные количества ХОП, в том числе и ДДТ [11]. Учитывая этот факт, можно предположить, что водотоки р. Волги с обширными прилегающими территориями заливных лугов подвергаются подобного рода загрязнению. Так, например, при исследовании поверхностных вод Самарской области в 2010 г. установлено, что концентрация пестицидов превышала ПДК (0.01 мкг/л) для рыбохозяйственных водоемов в 10 раз [1, 12]. Исследования в низовьях Волги говорят о том, что, вероятнее всего, содержание пестицидов в дельте обусловлено в первую очередь транзитным стоком. Исторический максимум содержания пестицидов в водоемах дельты достигал 42 ПДК в августе 1990 г. [13].

Исследования зарубежных ученых в рамках изучения ХОП в значительной степени посвящены изучению экологических рисков и рисков для здоровья человека в результате загрязнения водоемов пестицидами, а также их распространению и миграции [14, 15]. Обширные исследования биоаккумуляции пестицидов в Китае показали, что водно-болотные угодья испытывают наибольшую нагрузку от воздействия пестицидов на свою экосистему ввиду динамичности системы и быстрой миграции ХОП. Водно-болотные угодья сильно загрязнены пестицидами в результате роста численности населения, индустриализации и сельскохозяйственного развития, а также чрезмерного использования ХОП в прошлом [16].

Изучение фоновых уровней концентрации ХОП в поверхностных водах Индии и Пакистана указывает на действующие локальные источники загрязнения пестицидами и подтверждает необходимость регулярных мониторинговых исследований пестицидов в водной среде [17]. Высокий уровень загрязненности создает потенциальную опасность для водных организмов [18, 19].

Достаточно остро стоит проблема загрязнения пестицидами в странах африканского континента, где ХОП до сих пор используются в сельском хозяйстве [20–22]. В исследованиях зачастую отмечают, что загрязнение ХОП в Африке носит локальный характер. В некоторых исследуемых районах концентрации пестицидов выше нормативных значений (0.1 мкг/л) Агентства по охране окружающей среды США (U.S. EPA), которые использованы в исследовании в качестве реперных. Однако суммарная концентрация ХОП на всех участках ниже нормативного уровня, что говорит о достаточно низких потенциальных экотоксикологических рисках [20–23].

Таким образом, представляет интерес сравнение уровня загрязнения ДДТ поверхностных вод зарубежных стран и в дельте р. Волги.

Важнейшим инструментом в предотвращении негативных последствий применения и миграции пестицидов является фоновый и локальный мониторинг. Непосредственный контроль над уровнями накопления остаточных количеств пестицидов и их метаболитов является частной задачей такого мониторинга [24, 25]. Анализ содержания ХОП в поверхностных водах, а также идентификация источников загрязнения являются важнейшей составляющей мониторинга. Кроме того, имеет значение оценка экологического риска современного загрязнения пестицидами поверхностных вод ввиду переноса их остаточных количеств на большие расстояния и высокой чувствительности водных экосистем к ХОП, которая проявляется даже при чрезвычайно малых концентрациях ксенобиотиков [1].

С применением методов оценки риска исследователи из Португалии показали, что, несмотря на соответствие концентраций пестицидов в водной толще стандартам качества окружающей среды, принятым в Европейском союзе, такие ХОП, как ДДТ и его метаболиты, могут представлять высокий экотоксикологический риск [26, 27].

Цель работы состоит в выявлении многолетних изменений уровня и характера загрязнения ДДТ дельты р. Волги, а также проведении сравнительного анализа и оценке экологического риска загрязнения.

1. Материалы и методы

Исследования содержания пестицидов проводили в водотоках дельты р. Волги по результатам многолетних наблюдений на 8 стационарных гидрологических постах (с. Верхнелебяжье, пос. Ильинка, с. Красный Яр, г. Камызяк, рук. Кривая Болда, с. Подчалык,

г. Астрахань – ПОС (правобережные очистные сооружения), г. Астрахань – ЦКК (целлюлозно-картонный комбинат)) (рис. 1), которые расположены на правом и левом берегах, а также в стрежне.



Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов (отмечены красным кругом), на которых проводили определение ДДТ: I – с. Верхнелебяжье, II – с. Подчалык, III – с. Красный Яр, IV – г. Астрахань ЦКК, V – рук. Кривая Болда, VI – г. Астрахань ПОС, VII – пос. Ильинка, VIII – г. Камызяк

Fig. 1. Map of the hydrological monitoring stations (red circles) where DDT was measured: I – Verkhnelebyazhye village, II – Podchalyk village, III – Krasny Yar village, IV – Astrakhan Pulp and Cardboard Mill, V – Krivaya Bolda River, VI – Astrakhan Right-Bank Wastewater Treatment Facility, VII – Ilyinka settlement, VIII – Kamzyyak

Анализ данных по содержанию ДДТ и продукта его распада дихлордифенилэтилена (ДДЭ) в водах дельты р. Волги проводили по пятнадцати имеющимся рядам наблюдений за период с 1985 по 2022 гг. с перерывами в 1998–2000 гг. Количественный химический анализ ДДТ и ДДЭ проведен в аккредитованной лаборатории Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Определение пестицидов в воде после извлечения *n*-гексаном и очистки экстракта концентрированной серной кислотой проводили методом газовой хроматографии с детектором электронного захвата согласно РД 52.24.412-2009 [28].

Общее количество анализируемых значений концентрации ДДТ составило 1497, а ДДЭ – 1391. Концентрации ДДЭ приведены только для расчета отношения ДДТ/ДДЭ и отдельно не рассматриваются.

Сток ДДТ рассчитывали как произведение расхода воды р. Волги в вершине дельты и средней концентрации ДДТ в воде по посту с. Верхнелебяжье.

Анализ данных проводили с помощью стандартного пакета инструментов в Excel (Microsoft Corp., США). Результаты представляли как среднее, минимальное и максималь-

ное значения, а также стандартное квадратичное отклонение (СКО) и коэффициент вариации c_v . Функциональные зависимости между параметрами устанавливали с помощью корреляции Пирсона.

Для оценки экологического риска, связанного с загрязнением ДДТ, использовали метод расчета коэффициента риска, «risk quotient (RQ)», разработанный Европейской комиссией [27] и используемый в расчетах риска в поверхностных водах водохранилища Алькева (Португалия) [26]. Согласно этой методике, коэффициент риска (уравнение 1) рассчитывали как отношение «measured environmental concentrations» (MEC) (средняя или максимальная концентрация ДДТ) к «predicted no effect concentration» ($PNEC$) (концентрация, не оказывающее воздействие).

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC}. \quad (1)$$

В свою очередь, $PNEC$ рассчитывали по уравнению 2

$$PNEC = \frac{LC_{50}}{f}, \quad (2)$$

где f – оценочный коэффициент, взятый для характерных видов рыб и равный 1000, LC_{50} – полуметальная концентрация. Для расчетов использовали значения уровня полуметальной концентрации ДДТ для рыб, полученные из открытой базы данных ECOTOX [29]. Полуметальную концентрацию вычисляли как среднее значение для видов рыб, характерных для дельты р. Волги (карповые, сазан, линь, укля, щука). Среднее значение концентрации ДДТ, при которой наблюдается гибель половины подопытных рыб, составила 0.61 мг/л.

Критерии экологического риска в рамках примененной методики ранжируются следующим образом: $0.01 \leq RQ < 0.1$ указывает на низкий риск; $0.1 < RQ < 1$ представляет средний экологический риск, а $RQ > 1$ говорит о высоком риске [26, 27].

2. Результаты и их обсуждение

Результаты статистического анализа массива данных по концентрациям ДДТ за период наблюдений 1985–2022 гг. представлены в табл. 1. Для пространственного распределения пестицида свойственна высокая неоднородность за весь период наблюдений. До 2010 года коэффициент вариации ($c_v \gg 100\%$) указывает на наличие в дельте локальных источников загрязнения ДДТ, в период 2010–2019 гг. значение параметра снизилось. За последние несколько лет (2020–2022 гг.) коэффициент вариации снова демонстрирует тенденцию к увеличению до 133.1 % (в районе п. Ильинка), однако значения 1980-х и 1990-х гг. не достигаются (табл. 1). В среднем по дельте р. Волги за период 1985–2022 гг. концентрация ДДТ снижается пропорционально значениям стока, однако динамика снижения является не монотонно убывающей. В период 1985–1989 гг. среднее содержание ДДТ в водотоках дельты составляло 2.5 ПДК на гидрологических постах с. Верхнелебяжье и с. Красный Яр, 3 и 3.2 ПДК на пунктах наблюдений г. Астрахань ЦКК и г. Камызяк соответственно. Максимальная концентрация в этот период достигала 35 ПДК в районе г. Астрахань. В 1990-х гг. концентрация ДДТ во всех водотоках снизилась более чем в 10 раз, максимум (21 ПДК) регистрировался в г. Астрахань. Наименьшие средние значения концентрации наблюдались в 2000-х гг. (табл. 1), после чего произошло увеличение значений концентрации на порядок. В последние годы (2020–2022 гг.) наблюдается стабилизация содержания ДДТ во всех водотоках дельты.

Табл. 1. Концентрация ДДТ (мкг/л) в речной воде на различных постах дельты Волги в период 1985–2022 гг. (< ПрО – значение ниже предела обнаружения)

Table 1. DDT concentrations (µg/L) in the water at various sites of the Volga River delta for 1985–2022 (< LOD – value below the limit of detection)

Период	Пункт наблюдения	Концентрация ДДТ, мкг/л			СКО	c_v , %
		$\bar{c}$	$c_{\min}$	$c_{\max}$		
1985–1989	с. Верхнелебяжье	0.0249	< ПрО	0.2075	0.043	173.8
	п. Ильинка	0.0173	< ПрО	0.0850	0.027	154.2
	с. Красный Яр	0.0246	< ПрО	0.0995	0.030	121.8
	г. Камызяк	0.0318	< ПрО	0.2400	0.057	179.1
	рук. Кривая Болда	0.0200	< ПрО	0.1400	0.034	168.1
	г. Астрахань ЦКК	0.0303	< ПрО	0.3510	0.076	252.2
1990–1999	с. Верхнелебяжье	0.0032	< ПрО	0.0520	0.010	329.6
	п. Ильинка	0.0054	< ПрО	0.0550	0.013	243.0
	с. Красный Яр	0.0040	< ПрО	0.0855	0.015	375.9
	г. Камызяк	0.0041	< ПрО	0.0660	0.013	324.6
	рук. Кривая Болда	0.0053	< ПрО	0.0930	0.016	310.0
	г. Астрахань ЦКК	0.0108	< ПрО	0.2155	0.039	359.6
2000–2009	с. Верхнелебяжье	0.0003	< ПрО	0.0020	0.0005	165.3
	п. Ильинка	0.0002	< ПрО	0.0020	0.001	255.4
	с. Красный Яр	0.0004	< ПрО	0.0030	0.001	163.5
	г. Камызяк	0.0005	< ПрО	0.0040	0.001	147.1
	рук. Кривая Болда	0.0003	< ПрО	0.0020	0.001	233.3
	г. Астрахань ЦКК	0.0002	< ПрО	0.0020	0.000	233.0
2010–2019	с. Верхнелебяжье	0.0023	< ПрО	0.0060	0.002	66.1
	п. Ильинка	0.0020	< ПрО	0.0060	0.001	67.5
	с. Красный Яр	0.0022	< ПрО	0.0060	0.001	66.7
	г. Камызяк	0.0025	< ПрО	0.0070	0.002	65.3
	рук. Кривая Болда	0.0020	< ПрО	0.0070	0.002	76.7
	г. Астрахань ЦКК	0.0022	< ПрО	0.0060	0.001	63.2
2020–2022	с. Верхнелебяжье	0.0012	< ПрО	0.0040	0.001	92.7
	п. Ильинка	0.0013	< ПрО	0.0085	0.002	133.1
	с. Красный Яр	0.0015	< ПрО	0.0060	0.001	98.2
	г. Камызяк	0.0015	< ПрО	0.0050	0.002	110.3
	рук. Кривая Болда	0.0016	< ПрО	0.0050	0.001	91.9
	г. Астрахань ЦКК	0.0009	< ПрО	0.0030	0.001	111.3

Для выявления закономерностей распределения ДДТ в дельте р. Волги необходимо оценить количество пестицида, поступающего с речным стоком. Сток ДДТ рассчитывали за весь период наблюдений с 1985 г. по 2022 г. По многолетним данным, с середины 1980-х гг. значение стока снизилось на порядок. Наибольший уровень стока ДДТ зарегистрирован

в 1989 г. и составил 13.4 тонны. В 1990 г. поступление ДДТ со стоком сократилось более чем в два раза, и в последующие годы продолжило снижаться, достигнув значения < 1 тонны в 2002 г. (рис. 2). В период 2016–2019 гг. наблюдалась тенденция увеличения стока ДДТ, которая в 2020 г. сменилась на снижение с последующей стабилизацией на уровне 200–400 кг ДДТ в год (рис. 2, вставка). Среднее значение стока ДДТ за период 1985–2022 гг. составило 1.2 ± 2.8 т/г. В целом графики отражают снижение массы пестицидов, поступающих в Волгу после введения запрета на использование пестицидов.

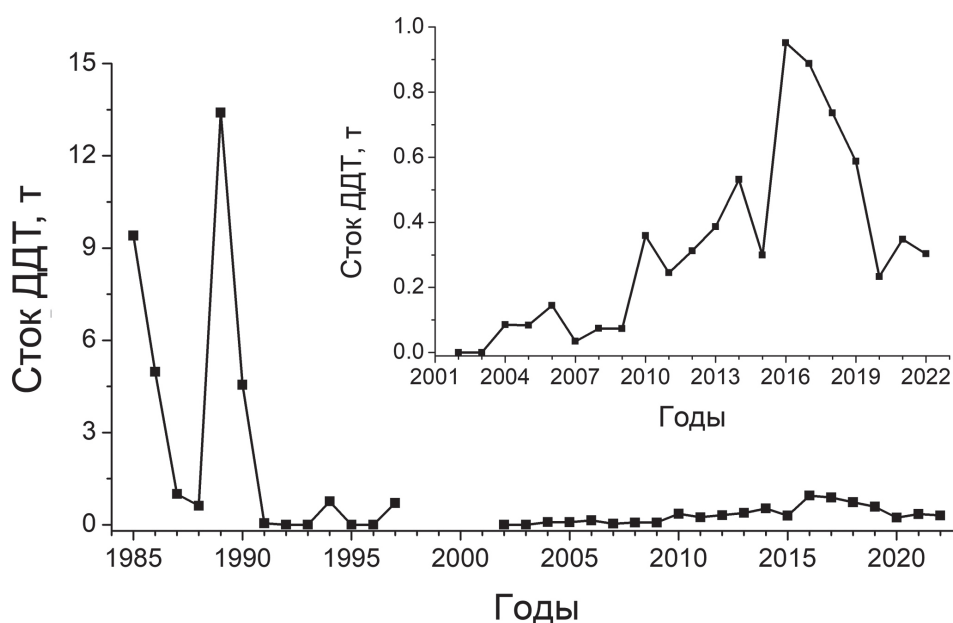


Рис. 2. Многолетняя динамика стока ДДТ в вершине дельты Волги

Fig. 2. Long-term dynamics of the DDT runoff in the upper reaches of the Volga River delta

Если предположить, что основные источники загрязнения ДДТ находятся выше вершины дельты Волги, где и формируется подавляющая часть стока, то многолетняя динамика концентрации на всех исследуемых станциях должна быть единообразной. Для оценки уровня зависимости между стоком ДДТ (по станции с. Верхнелебязье) и концентрацией ДДТ на гидрологических постах, расположенных ниже по течению реки, использован корреляционный анализ, результаты которого представлены на рис. 3. Получена устойчивая прямая корреляционная зависимость между стоком ДДТ, рассчитанным в вершине дельты (по посту с. Верхнелебязье), и концентрацией ДДТ на станциях мониторинга ($r > 0.20$, при $n = 110$ и $\alpha = 0.05$, $r_{\text{крит}} = 0.186$). Самый высокий уровень значимости исследуемых связей наблюдался на станции ЦКК в г. Астрахани.

Такая оценка указывает на то, что транзитный сток оказывает определяющее влияние на загрязнение дельты р. Волги пестицидом. Однако следует отметить, что до 2000-х гг. средние и максимальные концентрации в районе г. Астрахани и г. Камызяк значительно выше таковых в вершине дельты (район гидрологического поста с. Верхнелебязье). Это может косвенно указывать на наличие источников загрязнения ДДТ в районе г. Астрахани и г. Камызяк, что, в свою очередь, подтверждается высокими значениями c_v (табл. 1). Также необходимо учитывать, что основные объемы сельскохозяйственного производства в дельте р. Волга сконцентрированы в ее западной части, где часто наблюдались самые высокие значения концентрации ДДТ (г. Астрахань, г. Камызяк, пос. Ильинка).

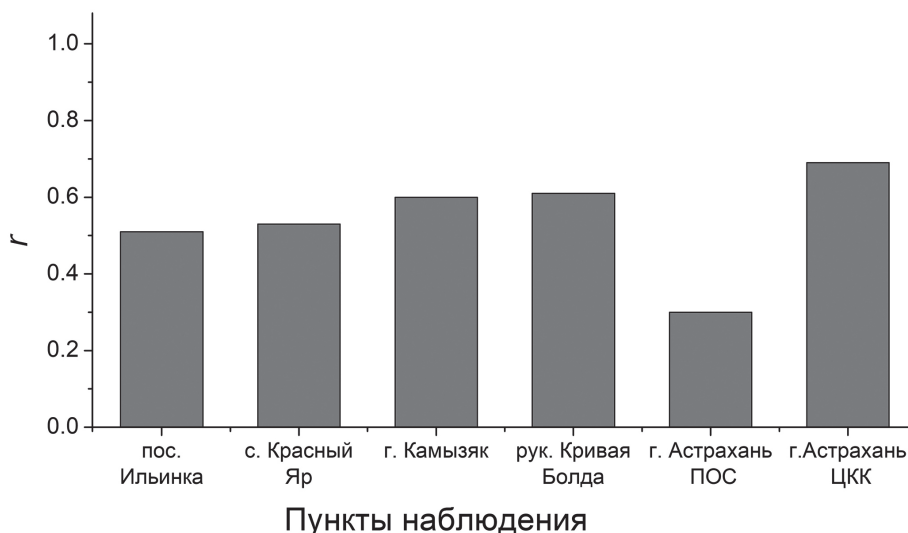


Рис. 3. Коэффициенты корреляции между стоком ДДТ в районе с. Верхнелебяжье и концентрацией ДДТ на гидрологических постах, расположенных ниже по течению

Fig. 3. Correlation coefficients between the DDT runoff near the Verkhnelebyazhye village and the DDT concentration at the downstream hydrological monitoring stations

Кроме того, проведенный в рамках исследования корреляционный анализ не показал наличия взаимосвязи между концентрацией ДДТ и содержанием нефтяных углеводородов на тех же станциях мониторинга. Таким образом, пространственное распределение ДДТ в дельте р. Волги не зависит от содержания нефтяных углеводородов, вопреки некоторым литературным данным [5].

Согласно полученным результатам, концентрация ДДТ в исследуемых водотоках определяется его поступлением в вершину дельты. Однако не следует исключать и влияние локального фактора. Так, используя соотношение концентраций ДДТ и его метаболита ДДЭ (табл. 2), можно говорить о степени деградации ДДТ, то есть о длительности его нахождения в окружающей среде. При этом значения, близкие к единице, будут указывать на относительно недавнее поступление ДДТ в окружающую среду.

Табл. 2. Многолетняя динамика соотношения ДДТ/ДДЭ в воде дельты р. Волги на разных пунктах наблюдений

Table 2. Long-term dynamics of the DDT/DDE ratio in the water of the Volga River delta at different monitoring sites

Период	с. Верхнелебяжье	г. Астрахань ЦКК	п. Ильинка	г. Камызяк	с. Красный Яр	рук. Кривая Болда
1985-1989	0.09	0.03	0.13	0.07	0.09	0.13
1990-1999	0.05	0.01	0.04	0.25	<0.01	0.09
2000-2009	0.60	0.19	0.11	0.15	0.37	0.31
2010-2019	1.02	1.07	0.96	0.85	1.00	0.98
2020-2022	0.36	0.76	0.66	0.61	0.64	0.33

Данные табл. 2 показывают, что в 1980-е гг. вода всех водотоков содержала пестициды, которые достаточно долгое время находились в воде и успели подвергнуться разложению. Схожая картина наблюдалась и в 1990-х гг., за исключением поста г. Камызяк, на котором

отмечено резкое повышение отношения ДДТ/ДДЭ. В 2000-х гг. на всех постах соотношение увеличивается, а в 2010-х гг. оно указывает на поступление относительно «свежих» пестицидов по всей акватории дельты. В 2020-х гг., судя по величине соотношения ДДТ/ДДЭ, в вершину дельты Волги поступает более «состаренный» ДДТ по сравнению с наблюдаемыми на большинстве остальных постов, что также может указывать на локальное поступление ДДТ в водотоки дельты.

Несмотря на то, что концентрация ДДТ в водоемах дельты в последнее время соответствует нормативам ПДК, с учетом международного опыта в исследованиях пестицидов, проведена оценка возможного экологического риска (RQ). Результаты расчета риска по средним и максимальным концентрациям ДДТ (по данным всей территории дельты р. Волга) за два последних десятилетия представлены на рис. 4.

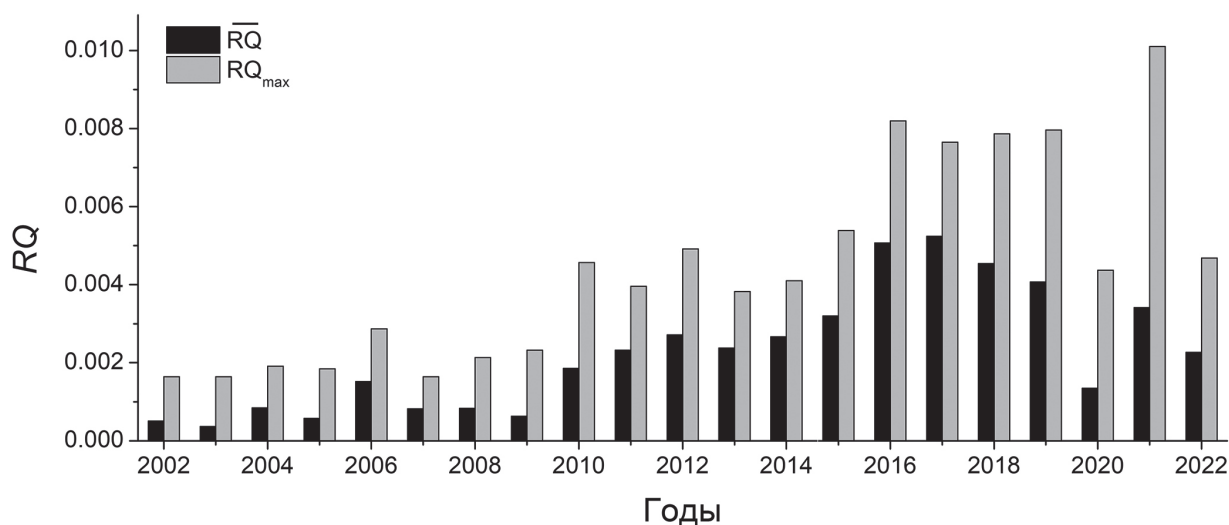


Рис. 4. Экологические риски загрязнения ДДТ дельты р. Волги

Fig. 4. Environmental risks associated with DDT pollution of the Volga River delta

С 2001 г. экологический риск, рассчитанный по средним концентрациям ДДТ, не превышает 0.01 ед. и оценивается как «низкий». За весь период наблюдений самое низкое значение риска отмечается в 2003 г., а самые высокие значения зарегистрированы в 2016–2017 гг. Экологический риск, рассчитанный по максимальным значениям концентрации ДДТ, не превышает 0.03 ед. за весь период наблюдений и также характеризуется как «низкий» (рис. 4). Таким образом, концентрация ДДТ в водах дельты р. Волги на данном этапе исследований не вызывает серьезных опасений.

Как правило, высокие концентрации ДДТ наблюдаются в регионах, где производится и разрешено использование ДДТ (Юго-восточная Азия, Африка). В этом случае значения концентраций ДДТ могут превышать российские нормативы в десятки и более раз (табл. 3). В то же время территории, удаленные от центров производства ДДТ и на которых использование ДДТ под запретом уже много десятилетий (Северная Америка, Южная Америка), характеризуются низкими содержаниями пестицида. В реках Российской Федерации содержание ДДТ достигает 0.1 ПДК и лишь в единичных случаях. По мониторинговым исследованиям наиболее загрязненными водами рек бассейна Каспийского моря по уровню ДДТ оказались воды рек Иранского побережья [35], а наименьшее содержание показала р. Урал [36], однако различия статистически незначимы. Концентрации ДДТ в водах дельты р. Волги, рек Ирана и р. Урал находятся примерно на одном уровне.

Табл. 3. Концентрация ДДТ в реках различных регионов мира

Table 3. DDT concentrations in river waters across different regions of the world

Период	Страна	Водный объект	$c_{\text{ДДТ}}$, мкг/л	Литература
2015	Пакистан	р. Рави	0.0076	[18]
2014	США	реки бассейна Великих озер	0.000074	[23]
2015–2016	ЮАР	р. Буффало	0.100	[30]
2015–2016	Китай	реки района г. Пекин	0.0002	[31]
2016	Эфиопия	р. Акаки	0.0156	[32]
2015	Индия	р. Хугли	0.015	[33]
2020–2021	Колумбия	р. Пьедрас	0.00001	[34]
2019	Иран	реки бассейна Каспийского моря	0.0015	[35]
2023	Россия	реки Приазовья	0.001	[36]
		р. Пясины	0.001	
		р. Урал	0.001	
2020–2022	Россия	дельта р. Волги	0.0013	Эта работа

По сравнению с экологическими рисками, полученными для вод дельты Волги, риски в других регионах мира могут быть значительно выше. Так, в реках Китая, Индии, Бразилии наиболее распространенными пестицидами являются линдан и ДДТ [15–19]. При этом отмечается, что обычно в эстуариях рек наблюдается более высокое содержание пестицидов [16]. В то же время при относительно высоких концентрациях пестицидов канцерогенный риск для рек может и отсутствовать [14]. С другой стороны, оценка экологического риска в районах со значительным уровнем загрязнения поверхностных вод ДДТ и поступлением относительно свежих пестицидов в воду показала потенциальную опасность [17].

Сходная картина наблюдается и в Африке, где ДДТ является одним из наиболее распространенных пестицидов [21]. Самые высокие содержания ДДТ зарегистрированы в Южной Африке и в Египте, причем метаболиты ДДТ обнаруживаются во всех исследованных водных системах африканского континента [22]. Высокие фоновые содержания ДДТ со значительным уровнем биоразложения и фотохимических трансформаций наблюдаются также в водах лагуны Лагос в Нигерии. Поскольку концентрации ХОП значительно превышают нормативы качества по стандартам U.S. EPA, то есть вероятность возникновения неблагоприятных последствий для местной экосистемы [20].

В Европе установлен высокий экотоксикологический риск для водных организмов в экосистеме водохранилища Алкева (Португалия) несмотря на то, что концентрация ДДТ соответствует нормативам U.S. EPA [26]. В целом все исследования свидетельствуют о необходимости регулярных наблюдений за уровнем ХОП, что справедливо и для дельты Волги. Постоянное поступление пестицидов в водотоки дельты со стоком р. Волги требуют непрерывного мониторинга за содержанием пестицидов в водной среде.

Заключение

Несмотря на многолетние запреты производства и использования ДДТ в России и мире, этот пестицид продолжает присутствовать в окружающей среде. Причиной этому могут быть несанкционированное использование старых запасов пестицидов, диффузные стоки с полей, поступление с атмосферными осадками.

Результаты исследований показывают, что основным источником загрязнения ДДТ дельты р. Волги является его сток. Концентрация ДДТ в исследуемых водотоках определяется его поступлением в вершину дельты, то есть основной источник загрязнения находится за пределами объекта исследований. Однако различия в пространственном распределении ДДТ и пики концентрации могут свидетельствовать о действии временных локальных источников ДДТ в дельте, что, в свою очередь, подтверждается соотношением ДДТ и его метаболита ДДЭ и может указывать на действие отдельных источников, локализованных в дельте Волги. Таким образом, можно сделать вывод о смешанном поступлении пестицида в водотоки дельты. Несмотря на то, что рассчитанные экологические риски на данном этапе исследований оказались низкими и не вызывают опасений, постоянное поступление ДДТ в воды дельты р. Волги требует регулярных наблюдений и контроля.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Литература

1. Галиулин Р.В., Башкин Н.В. Оценка экологического риска загрязнения поверхностных вод стойкими хлорорганическими пестицидами // Вестн. Моск. ун-та. Серия: География. 2008. № 2. С. 3–7.
2. Сарикян С.Я. Противомаларийные мероприятия в зоне верховья Цимлянского водохранилища и строительства Волго-Донского канала (опыт двухлетней работы) // Гигиена и санитария. 1955. № 10. С. 18–22.
3. Развитие химической промышленности в СССР (1917–1980). Развитие отдельных отраслей химической промышленности / отв. ред. Казарян П.Е. М.: Наука, 1984. 400 с.
4. Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. М.: Наука, 1999. 461 с.
5. Алтуфьев Е.В., Гераскин П.П. Мониторинг морфофункционального состояния мышечной ткани осетровых и костистых рыб Каспия // Проблемы региональной экологии. 2003. № 6. С. 111–124.
6. Гурьев В.А., Ахмадиев Г. М. Научные основы и принципы сохранения и предотвращения загрязнения реки Волги // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 1. С. 132–136.
7. Методические указания о мероприятиях по борьбе с зимними клещами (*Hyalomma scupense*) сельскохозяйственных животных от 11.05.1956.
8. Постановление Совета Министров СССР от 16.02.1965 г. N 86 «О мероприятиях по охране здоровья населения в связи с расширением применения в сельском хозяйстве химических средств защиты растений».
9. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Загрязнение водных объектов остатками хлорорганических инсектицидов ДДТ и ГХЦГ из точечных и диффузных источников // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. Т. 23, № 2. С. 50–54.
10. Богданова М.Д., Герасимова М.И. Опасность загрязнения пахотных почв России пестицидами: опыт интерпретации свойств и режимов почв // Вестн. Моск. ун-та. Серия: Почвоведение. 1995. № 3. С. 33–40.
11. Ежегодник «Состояние загрязнения пестицидами объектов природной среды Российской Федерации в 2022 году». Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун»», 2023. 88 с.
12. Приказ Министерства сельского хозяйства от 13 декабря 2016 года N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

13. Проблемы загрязнения устьевой области Волги / отв. ред. Островская Е.В. Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2021. 328 с.
14. Xie W., Wang G., Yu E., Xie J., Gong W., Li Z., Zhang K., Xia Y., Tian J., Li H. The lingering menace: How legacy organochlorine pesticides still threaten our rivers and food chains // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2025. V. 289. Art. 117422. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117422>.
15. Gao J., Liu L., Liu X., Lu J., Zhou H., Huang S., Wang Z., Spear P.A. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides – lindane, *p,p'*-DDT, and heptachlor epoxide – in surface water of China // *Environ. Int.* 2008. V. 34, No 8. P. 1097–1103. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.03.011>.
16. Hu Q., Liang Y., Zeng H., Huang H., Chen W., Qin L., Song X., Yan X. Organochlorine pesticides in water and sediment at a typical karst wetland in Southwest China // *J. Geochem. Explor.* 2024. V. 264. Art. 107519. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107519>.
17. Tariq T., Mahmood A., Majid M., Nazir R., Elgorban A.M., Abid I., Ullah R., Sivasamugham L.A. Screening levels spatial interpolation of lifetime carcinogenic risk by organochlorine pesticides across catchments of River Chenab // *J. King Saud Univ. Sci.* 2024. V. 36, No 10. Art. 103422. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103422>.
18. Baqar M., Sadeef M., Ahmad S.R., Mahmood A., Li J., Zhang G. Organochlorine pesticides across the tributaries of River Ravi, Pakistan: Human health risk assessment through dermal exposure, ecological risks, source fingerprints and spatio-temporal distribution // *Sci. Total Environ.* 2018. V. 618. P. 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.234>.
19. do Rego E.L., de Souza J.R., Nakamura T.S., Portela J.F., Diniz P.H.G.D., da Silva J.D.S. Pesticides in surface water of the Ondas river watershed, western Bahia, Brazil: Spatial-seasonal distribution and risk assessment // *Chemosphere.* 2024. V. 354. Art. 141659. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141659>.
20. Benson N.U., Unyimadu J.P., Tenebe I.T. Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface-mixed layer water and intertidal sediments of Lagos lagoon, Gulf of Guinea // *Reg. Stud. Mar. Sci.* 2023. V. 67. Art. 103187. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103187>.
21. Asefa E.M., Mergia M.T., Damtew Y.T., Mengistu D.A., Dugusa F.F., Tessema R.A., Enoe J., Ober J., Teklu B.M., Woldemariam E.D. Organochlorine pesticides in Ethiopian waters: Implications for environmental and human health // *Toxicol. Rep.* 2024. V. 12. P. 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.06.001>.
22. Makgoba L., Abrams A., Rösli M., Cissé G., Dalvie M.A. DDT contamination in water resources of some African countries and its impact on water quality and human health // *Heliyon.* 2024. V. 10, No 7. Art. e28054. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28054>.
23. Alvarez D.A., Corsi S.R., De Cicco L.A., Villeneuve D.L., Baldwin A.K. Identifying chemicals and mixtures of potential biological concern detected in passive samplers from Great Lakes tributaries using high-throughput data and biological pathways // *Environ. Toxicol. Chem.* 2021. V. 40, No 8. P. 2165–2182. <https://doi.org/10.1002/etc.5118>.
24. Андреева Л.Н. Мониторинг пестицидов в окружающей среде и продукции // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. № 3. С. 3–5.
25. Zheng S., Chen B., Qiu X., Chen M., Ma Z., Yu X. Distribution and risk assessment of 82 pesticides in Jiulong River and estuary in South China // *Chemosphere.* 2016. V. 144. P. 1177–1192. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.050>.
26. Palma P., Köck-Schulmeyer M., Alvarenga P., Ledo L., Barbosa I.R., López de Alda M., Barceló D. Risk assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal) // *Sci. Total Environ.* 2014. V. 488–489. P. 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.088>.
27. De Bruijn J., Hansen B., Johansson S., Luotamo M., Munn S.J., Musset C., Olsen S.I., Olsson H., Paya-Perez A.B., Pedersen F., Rasmussen K., Sokull-Kluttgen B. Technical Guidance Document on

- Risk Assessment: Part. II. European Commission – Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, European Chemicals Bureau. Report EUR 20418 EN/2. Luxembourg: Office Off. Publ. Eur. Communities, 2003. 337 p.
28. РД 52.24.412-2009. Массовая концентрация гексахлорбензола, альфа-, бета-, и гамма-ГХЦГ, дикофола, дигидрогептахлора, 4,4'-ДДТ, 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД, трифлуралина в водах. Методика выполнения измерений газохроматографическим методом. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ГУ ГХИ, 2009. 52 с.
29. The ECOTOXicology Knowledgebase (ECOTOX). URL: www.epa.gov/ecotox.
30. Yahaya A., Okoh O.O., Okoh A.I., Adeniji A.O. Occurrences of organochlorine pesticides along the course of the Buffalo River in the Eastern Cape of South Africa and its health implications // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017. V. 14, No 11. Art. 1372. <https://doi.org/10.3390/ijerph14111372>.
31. Shao Y., Han S., Ouyang J., Yang G., Liu W., Ma L., Luo M., Xu D. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in surface water around Beijing // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016. V. 23, No 24. P. 24824–24833. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7663-4>.
32. Kassegne A.B., Okonkwo J.O., Berhanu T., Daso A.P., Olukunle O.I., Asfaw S.L. Ecological risk assessment of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in water and surface sediment samples from Akaki River catchment, central Ethiopia // *Emerg. Contam.* 2020. V. 6. P. 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.11.004>.
33. Khuman S.N., Chakraborty P. Air-water exchange of pesticidal persistent organic pollutants in the lower stretch of the transboundary river Ganga, India // *Chemosphere*. 2019. V. 233. P. 966–974. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.223>.
34. Ramírez D.G., Valderrama J.F.N., Tobón C.A.P., García J.J., Echeverri J.D., Sobotka J., Vrana B. Occurrence, sources, and spatial variation of POPs in a mountainous tropical drinking water supply basin by passive sampling // *Environ. Pollut.* 2023. V. 318. Art. 120904. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120904>.
35. Behrooz R.D., Esmaili-Sari A., Chakraborty P. Distribution and eco-toxicological risk assessment of legacy persistent organic pollutants in surface water of Talar, Babolrood and Haraz rivers // *Water*. 2020. V. 12, No 11. Art. 3104. <https://doi.org/10.3390/w12113104>.
36. Качество поверхностных вод Российской Федерации / под ред. Трофимчука М.М. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «Гидрохимический институт», 2024, 596 с.

References

1. Galiulin R.V., Bashkin N.V. Assessment of the environmental risk of surface water pollution with persistent organochlorine pesticides. *Vestn. Mosk. Univ. Ser.: Geogr.*, 2008, no. 2, pp. 3–7. (In Russian)
2. Sarikyan S.Ya. Preventive measures against malaria in the upper Tsimlyansk Reservoir and the Volga–Dons Canal construction area (two years of work). *Gig. Sanit.*, 1955, no. 10, pp. 18–22. (In Russian)
3. *Razvitie khimicheskoi promyshlennosti v SSSR (1917–1980). Razvitie otdel'nykh otraslei khimicheskoi promyshlennosti* [Development of the Chemical Industry in the USSR (1917–1980). Development of Individual Branches of the Chemical Industry]. Kazaryan P.E. (Ed.). Moscow, Nauka, 1984. 400 p. (In Russian)
4. Fedorov L.A., Yablokov A.V. *Pestitsidy – toksicheskii udar po biosfere i cheloveku* [Pesticides – A Toxic Blow to the Biosphere and Humans]. Moscow, Nauka, 1999. 461 p. (In Russian)
5. Altuf'ev E.V., Geraskin P.P. Monitoring of the morphofunctional state of muscle tissue in Caspian sturgeon and bony fishes. *Probl. Reg. Ekol.*, 2003, no. 6, pp. 111–124. (In Russian)
6. Gur'ev V.A., Akhmadiev G.M. Scientific foundations and principles that guide conservation and pollution prevention of the Volga River. *Byull. Nauki Prakt.*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 132–136. (In Russian)

7. Methodological Guidelines for the Management of Winter Mites (*Hyalomma scupense*) in Agricultural Animals of May 11, 1956. (In Russian)
8. Resolution of the USSR Council of Ministers of February 16, 1965 No. 86 “On measures for safeguarding public health in connection with the expansion of use of chemical plant protection agents in agriculture”. (In Russian)
9. Galiulin R.V., Galiulina R.A. Pollution of water bodies with DDT and HCH organochlorine insecticides from point and diffuse sources. *Samar. Luka: Probl. Reg. Global'noi Ekol.*, 2014. vol. 23, no. 2, pp. 50–54. (In Russian)
10. Bogdanova M.D., Gerasimova M.I. The danger of pollution of arable soils in Russia with pesticides: An interpretation of soil properties and regimes. *Vestn. Mosk. Univ. Ser.: Pochvoved.*, 1995, no. 3, pp. 33–40. (In Russian)
11. *Ezhгодnik “Sostoyaniye zagryazneniya pestitsidami ob”ektov prirodnoi sredy Rossiiskoi Federatsii v 2022 godu”* [The Status of Pesticide Pollution of Natural Environment in the Russian Federation During 2022: A Yearbook]. Obninsk, FGBU “NPO “Taifun”, 2023. 88 p. (In Russian)
12. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 “On the approval of water quality standards for water bodies of commercial fishing importance, including maximum permissible concentrations of harmful substances in fishery waters”.
13. *Problemy zagryazneniya ust'evoi oblasti Volgi* [Problems of Pollution in the Estuary Region of the Volga River]. Ostrovskaya E.V. (Ed.). Astrakhan, Izd. Sorokin Roman Vasil'evich, 2021. 328 p. (In Russian)
14. Xie W., Wang G., Yu E., Xie J., Gong W., Li Z., Zhang K., Xia Y., Tian J., Li H. The lingering menace: How legacy organochlorine pesticides still threaten our rivers and food chains. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2025, vol. 289, art. 117422. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117422>.
15. Gao J., Liu L., Liu X., Lu J., Zhou H., Huang S., Wang Z., Spear P.A. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides – lindane, *p,p'*-DDT, and heptachlor epoxide – in surface water of China. *Environ. Int.*, 2008, vol. 34, no. 8, pp. 1097–1103. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.03.011>.
16. Hu Q., Liang Y., Zeng H., Huang H., Chen W., Qin L., Song X., Yan X. Organochlorine pesticides in water and sediment at a typical karst wetland in Southwest China. *J. Geochem. Explor.*, 2024, vol. 264, art. 107519. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107519>.
17. Tariq T., Mahmood A., Majid M., Nazir R., Elgorban A.M., Abid I., Ullah R., Sivasamugham L.A. Screening levels spatial interpolation of lifetime carcinogenic risk by organochlorine pesticides across catchments of River Chenab. *J. King Saud Univ. Sci.*, 2024, vol. 36, no. 10, art. 103422. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103422>.
18. Baqar M., Sadeef M., Ahmad S.R., Mahmood A., Li J., Zhang G. Organochlorine pesticides across the tributaries of River Ravi, Pakistan: Human health risk assessment through dermal exposure, ecological risks, source fingerprints and spatio-temporal distribution. *Sci. Total Environ.*, 2018, vol. 618, pp. 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.234>.
19. do Rego E.L., de Souza J.R., Nakamura T.S., Portela J.F., Diniz P.H.G.D., da Silva J.D.S. Pesticides in surface water of the Ondas river watershed, western Bahia, Brazil: Spatial-seasonal distribution and risk assessment. *Chemosphere*, 2024, vol. 354, art. 141659. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141659>.
20. Benson N.U., Unyimadu J.P., Tenebe I.T. Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface-mixed layer water and intertidal sediments of Lagos lagoon, Gulf of Guinea. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 2023, vol. 67, art. 103187. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103187>.
21. Asefa E.M., Mergia M.T., Damtew Y.T., Mengistu D.A., Dugusa F.F., Tessema R.A., Enoe J., Ober J., Teklu B.M., Woldemariam E.D. Organochlorine pesticides in Ethiopian waters: Implications for environmental and human health. *Toxicol. Rep.*, 2024, vol. 12, pp. 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.06.001>.

22. Makgoba L., Abrams A., Rössli M., Cissé G., Dalvie M.A. DDT contamination in water resources of some African countries and its impact on water quality and human health. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 7, art. e28054. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28054>.
23. Alvarez D.A., Corsi S.R., De Cicco L.A., Villeneuve D.L., Baldwin A.K. Identifying chemicals and mixtures of potential biological concern detected in passive samplers from Great Lakes tributaries using high-throughput data and biological pathways. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2021, vol. 40, no. 8, pp. 2165–2182. <https://doi.org/10.1002/etc.5118>.
24. Andreeva L.N. Monitoring of pesticides in the environment and products. *Nauchn. Obozr. Probl. Grazhdanskoi Zashch.*, 2010, no. 3, pp. 3–5. (In Russian)
25. Zheng S., Chen B., Qiu X., Chen M., Ma Z., Yu X. Distribution and risk assessment of 82 pesticides in Jiulong River and estuary in South China. *Chemosphere*, 2016, vol. 144, pp. 1177–1192. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.050>.
26. Palma P., Köck-Schulmeyer M., Alvarenga P., Ledo L., Barbosa I.R., López de Alda M., Barceló D. Risk assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal). *Sci. Total Environ.*, 2014, vol. 488–489, pp. 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.088>.
27. De Bruijn J., Hansen B., Johansson S., Luotamo M., Munn S.J., Musset C., Olsen S.I., Olsson H., Paya-Perez A.B., Pedersen F., Rasmussen K., Sokull-Kluttgen B. Technical Guidance Document on Risk Assessment: Part II. European Commission – Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, European Chemicals Bureau. Report EUR 20418 EN/2. Luxembourg, Office Off. Publ. Eur. Communities, 2003. 337 p.
28. Guidance Document 52.24.412-2009. Mass concentration of hexachlorobenzene, alpha-, beta-, and gamma-HCG, dicofol, dihydroheptachlor, 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD, trifluuralin in water. Measurement by gas chromatographic method. Rostov-on-Don, Rosgidromet, GU GKHI, 2009. 52 p. (In Russian)
29. The ECOTOXicology Knowledgebase (ECOTOX). URL: www.epa.gov/ecotox.
30. Yahaya A., Okoh O.O., Okoh A.I., Adeniji A.O. Occurrences of organochlorine pesticides along the course of the Buffalo River in the Eastern Cape of South Africa and its health implications. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017, vol. 14, no. 11, art. 1372. <https://doi.org/10.3390/ijerph14111372>.
31. Shao Y., Han S., Ouyang J., Yang G., Liu W., Ma L., Luo M., Xu D. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in surface water around Beijing. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2016, vol. 23, no. 24, pp. 24824–24833. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7663-4>.
32. Kassegne A.B., Okonkwo J.O., Berhanu T., Daso A.P., Olukunle O.I., Asfaw S.L. Ecological risk assessment of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in water and surface sediment samples from Akaki River catchment, central Ethiopia. *Emerging Contam.*, 2020, vol. 6, pp. 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.11.004>.
33. Khuman S.N., Chakraborty P. Air-water exchange of pesticidal persistent organic pollutants in the lower stretch of the transboundary river Ganga, India. *Chemosphere*, 2019, vol. 233, pp. 966–974. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.223>.
34. Ramírez D.G., Valderrama J.F.N., Tobón C.A.P., García J.J., Echeverri J.D., Sobotka J., Vrana B. Occurrence, sources, and spatial variation of POPs in a mountainous tropical drinking water supply basin by passive sampling. *Environ. Pollut.*, 2023, vol. 318, art. 120904. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120904>.
35. Behrooz R.D., Esmaili-Sari A., Chakraborty P. Distribution and eco-toxicological risk assessment of legacy persistent organic pollutants in surface water of Talar, Babolrood and Haraz rivers. *Water*, 2020, vol. 12, no. 11, art. 3104. <https://doi.org/10.3390/w12113104>.
36. *Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiiskoi Federatsii* [Surface Water Quality in the Russian Federation]. Trofimchuk M.M. (Ed.). Rostov-on-Don, Rosgidromet, FGBU “Gidrokhim. Inst.”, 2024. 596 p. (In Russian)

Информация об авторах

Виталий Олегович Татарников, старший научный сотрудник, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

E-mail: tatarnikov@caspianmonitoring.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7734-8740>

Диана Рафаиловна Светашева, младший научный сотрудник, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

E-mail: svetashevadr@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5388-8136>

Author Information

Vitaly O. Tatarnikov, Senior Researcher, Caspian Marine Scientific Research Center

E-mail: tatarnikov@caspianmonitoring.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7734-8740>

Diana R. Svetasheva, Junior Researcher, Caspian Marine Scientific Research Center

E-mail: svetashevadr@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5388-8136>

Поступила в редакцию 04.02.2025

Принята к публикации 08.04.2025

Received February 4, 2025

Accepted April 8, 2025