

УДК [546.36.027\*137+661.723](282.247.346)

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДДТ,  
ЕГО МЕТАБОЛИТОВ И ЦЕЗИЯ-137 В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ  
РЕКИ САЛГИР (КРЫМ)<sup>1</sup>****© 2024 г. Л. В. Малахова<sup>a, b, \*</sup>, Н. Ю. Мирзоева<sup>b</sup>, И. Н. Мосейченко<sup>a, b</sup>, В. В. Войцеховская<sup>a, b</sup>,  
Т. В. Малахова<sup>b</sup>, С. В. Овечко<sup>a</sup>**<sup>a</sup>Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии, Севастополь, 299011 Россия<sup>b</sup>ФИЦ “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН”, Севастополь, 299011 Россия

\*e-mail: malakh2003@list.ru

Поступила в редакцию 05.03.2024 г.

После доработки 27.03.2024 г.

Принята к публикации 27.03.2024 г.

Исследованы пространственно-временные изменения содержания и распределения хлорорганического пестицида п,п'-дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и его метаболитов и цезия-137 в донных отложениях наиболее протяженной крымской р. Салгир. Пространственное распределение концентрации  $\Sigma$ ДДТ и цезия-137 имело неравномерный очаговый характер. Максимальное содержание  $\Sigma$ ДДТ, превышающее ориентировочно допустимые уровни в донных отложениях >10 раз, было выявлено в среднем течении реки в районах с. Красная Зорька и Пятихатка (270 и 256 нг/г сухой массы соответственно). В этих районах доля ДДТ в его суммарной концентрации с метаболитами составляла >40%. Соотношение метаболита ДДЭ и ДДТ указывает на “свежее” поступление исходного пестицида в экосистему реки. Активность <sup>137</sup>Cs в поверхностном слое донных отложений изменялась от 4.4 до 69 Бк/кг сухой массы. С использованием геохронологии распределения <sup>137</sup>Cs в кернах из среднего течения реки определена скорость осадконакопления, проведена датировка осадков и реконструкция поступления  $\Sigma$ ДДТ в грунты реки с 1950-х гг. по настоящее время. Выявлен период максимальной загрязненности ДДТ донных отложений, соответствующий 1950–1960 гг. Обнаружение высоких уровней запрещенных пестицидов в поверхностных слоях донных отложений указывает на локальные источники их поступления в реку. Это требует принятия мер для их выявления и защиты речной экосистемы от загрязнения.

*Ключевые слова:* ДДТ и его метаболиты, цезий-137, донные отложения, река Салгир, Крым.

DOI: 10.31857/S0321059624060125 EDN: VOBSAV

**ВВЕДЕНИЕ**

П,п'-дихлордифенилтрихлорэтан (п,п'-ДДТ (ДДТ)) — один из самых распространенных и опасных хлорорганических пестицидов (ХОП), которые поступали в природную среду [41, 48, 49]. В СССР ДДТ производили и активно использовали с 1940-х гг. [16, 38]. В природных условиях ДДТ устойчив, но со временем может разлагаться на метаболиты дихлордифенил-

дихлорэтан (п,п'-ДДД (ДДД)) и ДДЕ дихлордифенилдихлорэтилен (п,п'-ДДЭ (ДДЭ)). ДДТ и метаболиты способны накапливаться в живых организмах с увеличением концентрации по трофической цепи. В 1970-х гг. было выявлено токсическое действие ДДТ на репродуктивную, нервную, иммунную и эндокринную системы многих живых организмов [8, 37, 47, 48] и был введен запрет на его использование [36]. Несмотря на это, в СССР применение ДДТ для борьбы с насекомыми продолжалось до конца 1980-х гг. Накопившаяся масса запрещенных пестицидов во многих районах хранилась на складах, которые постепенно разрушались [17]. При этом пестициды могли попадать в природную среду, что приводило к образованию множества очагов высокого загрязнения ДДТ в почве, донных отложениях, растительности, поверхностных и подземных водах [1, 3, 17, 23, 25, 27, 42, 45].

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ ПСГ “Изучение особенностей структуры и динамики пресноводных экосистем Северного Причерноморья” (государственная регистрация № 123101900019-5) и ФИЦ ИнБЮМ “Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозоологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России” (государственная регистрация № 1023032000047-8-1.6.19).

Основными источниками поступления  $^{137}\text{Cs}$  в водосборные бассейны рек Крыма были атмосферные осадки после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. [15], а также вода р. Днепр, поступавшая до 2014 г. по Северо-Крымскому каналу (СКК) [13]. В 2006 г. удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Центрально-Крымской равнины изменялась в пределах 2–4 Бк/м<sup>2</sup>, что несколько превышало дочернобыльский уровень [2]. В период 2022–2023 гг. было установлено, что  $^{137}\text{Cs}$  поступал на территорию Крыма со взвешенным веществом днепровской воды по СКК, при этом его активность в воде не превышала нормы радиационной безопасности, установленные Российской Федерации [32].

Выявление и контроль загрязнения речных систем опасными веществами имеет ключевое значение для обеспечения безопасности питьевой воды и в поддержании надлежащего качества в орошении сельскохозяйственных районов. В Крыму особое внимание уделяется р. Салгир, начинающейся на северных склонах Крымских гор, текущей через весь Крым и впадающей в зал. Сиваш Азовского моря [18].

Оценка состояния воды р. Салгир представлена в ежегодных отчетах государственных органов. В них воду р. Салгир квалифицировали как “грязную”, а в районе с. Двуречье, по анализу биохимического потребления кислорода, как “очень загрязненную” [21]. Информация о содержании ДДТ и его метаболитов в р. Салгир ограничена одной публикацией [26], где сообщается, что ХОП были обнаружены в четырех точках реки. В районе с. Молочное концентрация ДДТ в воде Салгира была >3 ПДК для рыбохозяйственных водоемов (10 нг/л). Проведенное исследование поставило задачу определить загрязнение ДДТ по всему руслу реки с целью выявления источников его поступления.

Благодаря своей высокой гидрофобности ДДТ может прочно связываться с твердыми частицами и удаляться в донные отложения, которые являются резервуаром многих загрязняющих веществ в водных системах. Однако при определенных условиях ХОП могут вновь поступить в экосистему и пищевую цепь, становясь потенциальным источником локального или даже гло-

бального загрязнения. Поэтому современные и ретроспективные данные о загрязнении донных отложений этими соединениями имеют большое значение для понимания текущего экологического состояния и истории загрязнения районов исследования [25, 43].

Для изучения хронологии загрязнения водоемов широкое распространение получило использование природных и техногенных радионуклидов в качестве трассеров для датировки осадков [12, 39]. Техногенный радионуклид  $^{137}\text{Cs}$ , который поступил в окружающую среду после глобальных испытаний ядерного оружия в 1960-х гг., а также в результате радиоактивных выбросов во время аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., – один из таких трассеров [40].

Цель данного исследования – оценка пространственно-временных изменений содержания ДДТ, его метаболитов и  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях наиболее протяженной крымской р. Салгир.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб донных отложений проводили с мая по октябрь 2023 г. в 13 точках р. Салгир: выше и ниже г. Симферополя в районах сел Доброго, Белоглинка и Совхозного, в среднем течении – от с. Красная зорька до с. Новогригорьевка и в нижнем течении – до с. Изобильного (рис. 1).

Глубина реки в районах отбора составляла от 0.3 до 0.6 м. Пробы поверхностного слоя (0–5 см) отбирали непосредственно в стеклянные емкости. В стационарной лаборатории грунты гомогенизировали и высушивали на воздухе до сухого состояния.

Для выполнения датировки осадков и реконструкции поступления  $\Sigma\text{ДДТ}$  и  $^{137}\text{Cs}$  на ст. 7 и ст. 13 трубчатым пробоотборником гравитационного типа были отобраны керны грунтов. Диаметр полученных кернов составлял 58 мм, высота в районе ст. 7 – 26 см, ст. 13 – 22 см. Колонки донных осадков разделяли с помощью поршневого экструдера на слои толщиной 1 см. Каждый слой после нарезки взвешивали в сыром виде и высушивали на воздухе до постоянной массы.



Рис. 1. Картограмма станций отбора проб донных отложений в р. Салгир.

По разности сырой и сухой массы рассчитывали содержание естественной влажности (ЕВ) в процентах сырой массы и в каждом слое фотометрическим методом определяли содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) [9].

Концентрацию ДДТ, его метаболитов ДДД и ДДЭ определяли методом газовой хроматографии в соответствии с методикой [10]. Из навески сухой пробы (от 5 г в илах до 10 г в песках) проводили экстракцию смесью *n*-гексана (квалификации “особо чистый” (о.с.ч.), Криохром) и ацетона (о.с.ч., Lab-Scan) в соотношении 3 : 1. Экстракты очищали на колонках с флорисилом (Merk). Серу из экстрактов удаляли активированной металлической медью (квалификации “химически чистый”, Компонент-Реактив). Анализ ХОП был выполнен в ЦКП “Спектрометрия и хроматография” ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000.2 с микро-ДЭЗ и 30-метровой колонкой с фазой CR-5. Расчет концентрации проводили с использованием многоуровневой калибровки градуировочными смесями, приготовленными из сертифицированных стандартных образцов ХОП фирмы “Sigma-Aldrich”. Погрешность определения ХОП  $\leq 15\%$ . Концентрация ХОП выражена на сухую массу образцов.

Активность  $^{137}\text{Cs}$  определяли в поверхностном слое донных осадков на ст. 4, 6, 12 и 13. Для проведения геохронологических оценок активность  $^{137}\text{Cs}$  определяли послойно в кернах, отобранных на ст. 7 и 13. Измеряли содержание  $^{137}\text{Cs}$  на

полупроводниковом детекторе на основе кристалла сверхчистого германия (НТЦ “РАДЭК”, Санкт-Петербург, РФ) на базе ЦКП “Спектрометрия и хроматография” ФИЦ ИнБЮМ. Калибровку детектора проводили с помощью эталонных образцов донных осадков, выпускаемых МАГАТЭ для международной стандартизации радиометрических измерений. Активность  $^{137}\text{Cs}$  определяли по регистрации излучения гамма-квантов его дочернего радионуклида –  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  с энергией 661.6 кэВ. Активность радионуклида  $A_{^{137}\text{-Cs}}$  рассчитывали по формуле:  $A_{^{137}\text{-Cs}} = (N_{^{137}\text{-Cs}} - N_{\phi})/E$ , где  $N_{^{137}\text{-Cs}}$  – общая скорость счета радионуклида, имп/с;  $N_{\phi}$  – скорость счета фона, имп/с;  $E$  – эффективность регистрации излучения радионуклида. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  рассчитано на сухой вес осадка, а статистическая погрешность рассчитана по величине одного стандартного отклонения от средних значений [34].

Средняя скорость осадконакопления (см/год), рассчитанная по  $^{137}\text{Cs}$ , использована для определения возраста слоев донных отложений по формуле [11]:  $T = T_0 - h/S$ , где  $T$  – абсолютный возраст слоя, годы;  $T_0$  – год отбора пробы;  $h$  – средняя глубина слоя, см;  $S$  – скорость осадконакопления, см/год.

Статистическая обработка данных (средние значения, построение матрицы коэффициентов корреляции) и графическое оформление полученных результатов выполнены с помощью программы MS Excel 2016.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое и в профилях отобранных кернов донных отложений*

В каждом образце поверхностного слоя донных отложений был обнаружен  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 1), активность которого в среднем и нижнем течении реки менялась от 4.4 до 69.0 Бк/кг. Подобная активность этого радионуклида определена в 2023 г. в донных отложениях СКК [33].

На ст. 7 в профиле вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  обнаружены три максимума удельной активности радионуклида: в поверхностном слое от 0 до 3 см, в подповерхностных слоях от 13 до 15 см и от 22 до 23 см (рис. 2). Верхний максимум концентрации  $^{137}\text{Cs}$  (69 Бк/кг), по-видимому, связан с недавним поступлением радионуклида в речную экосистему в результате стока веществ с водосборной площади в период экстремальных паводков на р. Салгир в 2022 г. Расход воды во время этих событий превышал норму в семь раз [35]. Такие мощные стоки могли вымыть  $^{137}\text{Cs}$  из его форм, ранее прочно связанных, “зафиксированных” в верхних горизонтах глинистых почв [5]. Средний максимум активности  $^{137}\text{Cs}$  в керне (16 Бк/кг) определялся его поступлением в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., нижний максимум (10 Бк/кг) – залповыми выпадениями радионуклидов после испытаний ядерного оружия в 1962 г. Исходя из такой хронологии выпадений  $^{137}\text{Cs}$ , скорость осадконакопления в водоемах определяют по глубине максимумов содержания оружейного и чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  в толще донных отложений [40]. По глубине залегания чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  14 см рассчитанная средняя скорость осадконакопления в исследованном районе за 37-летний период, прошедший после аварии на ЧАЭС, составляет 0.37 см/год (рис. 2а). В этом случае при

неизменной скорости осадконакопления и в дочернобыльский период максимум содержания оружейного  $^{137}\text{Cs}$  должен был залегать на глубине ~22.5 см. В исследуемом случае он обнаружен в слое от 22 до 23 см (рис. 2а). Это свидетельствует об устойчивой динамике седиментогенеза на ст. 7 в рассматриваемый интервал времени.

На ст. 13 зафиксированы два максимума концентрации  $^{137}\text{Cs}$ : в верхнем слое осадков (44 Бк/кг) и в слое 15–16 см (10 Бк/кг) (рис. 2б). Верхний пик, как и на ст. 7, определяется недавними поступлениями в реку  $^{137}\text{Cs}$ . Считаем, что второй пик можно соотнести с “чернобыльским” выпадением  $^{137}\text{Cs}$ , в этом случае скорость осадконакопления в этом керне составит 0.42 см/год. Разница скоростей осадконакопления на станциях 7 и 13 незначительная и может быть связана с различиями гидрофизических и биогеохимических процессов, происходящих на разных участках р. Салгир.

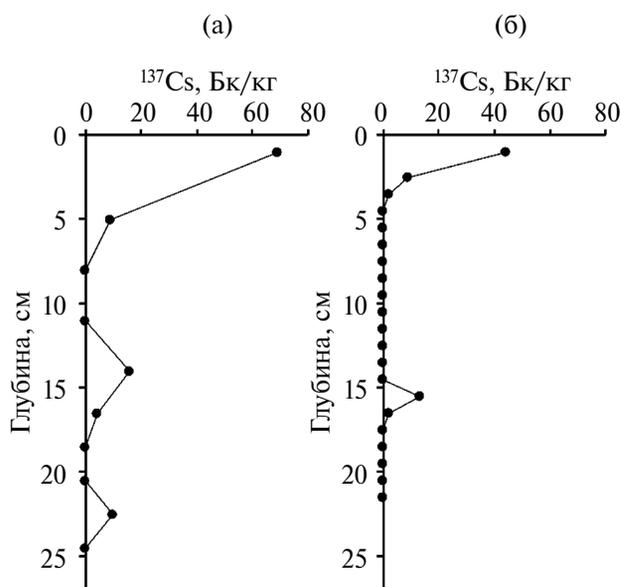


Рис. 2. Вертикальные профили удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках р. Салгир на ст. 7 (а) и 13 (б).

Таблица 1. Средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое донных отложений р. Салгир

Номер станции	Район отбора	Дата отбора	Удельная активность $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг $\pm \sigma$
4	с. Красная зорька	29.09.2023	4.4 $\pm$ 0.5
6	с. Новозуевка	29.09.2023	12.5 $\pm$ 1.1
7	с. Искра	29.09.2023	69.0 $\pm$ 7.2
12	с. Лиственное	13.10.2023	8.3 $\pm$ 0.9
13	с. Изобильное	13.10.2023	32.6 $\pm$ 3.4

*Анализ поверхностного слоя донных отложений*

Пробы донных отложений вдоль русла р. Салгир различались по гранулометрическому составу и были представлены песками разной степени заиленности и илами. Естественная влажность поверхностного слоя донных осадков варьировала от 22.9% в пробах с большим количеством гальки и мусора до 87.8% – в черных илах (табл. 2).

На первых трех станциях содержание  $C_{орг}$  было относительно невысоким и изменялось в пределах 0.82–0.91%. В среднем течении на ст. 4–10 его содержание менялось от 1.91 до 5.63%, что указывает на накопление органического вещества в этих районах, а в нижнем течении вновь снизилось до 0.23% на ст. 12 и 1.19% – на ст. 13 (табл. 2).

Концентрация ДДЭ в поверхностном слое донных отложений менялась в широком диапазоне – от 3.19 до 143.69 нг/г, ДДД – от 1.22 до 23.85 нг/г, ДДТ – от 0.13 до 107.59 нг/г (табл. 2). Распределение ХОП по руслу имело очаговый характер (рис. 3). На первых двух станциях выявлена относительно низкая концентрация  $\Sigma$ ДДТ: на ст. 1 – 9.06 нг/г, ст. 2 – 12.92 нг/г. На ст. 3 содержание  $\Sigma$ ДДТ повысилось в >4 раз по сравнению с первыми станциями. Максимальная концентра-

ция  $\Sigma$ ДДТ (270 нг/г) зафиксирована на ст. 4 в районе с. Красная Зорька. В районе ст. 5 содержание пестицидов вновь оказалось невысоким (16 нг/г) и далее по течению постепенно увеличивалось до 256 нг/г на ст. 8 возле с. Пятихатка. В нижнем течении реки концентрация  $\Sigma$ ДДТ снизилась и составляла в среднем 30 нг/г на станциях 10–13.

Доля ДДЭ в сумме концентраций ДДТ и метаболитов менялась от 24 до 95% (в среднем – 65%), ДДД – от 6 до 33% (в среднем – 14%), ДДТ – от 0.4 до 58% (в среднем – 21%). Максимальная доля исходного пестицида ДДТ выявлена на ст. 2, где она составила 58%, также высокой она была на ст. 5 – 41, ст. 4 – 39, ст. 8 и 9 – 31%, что говорит о недавнем поступлении ДДТ в экосистему реки на этих станциях.

*Результаты анализа кернов донных отложений*

В керне на ст. 7 визуально наблюдалось два слоя различающихся по цвету грунтов: до глубины 20 см отложения были серого цвета, с 21 до 26 см цвет осадка переходил в темно-серый. Такой цвет донных осадков, как правило, встречается при отрицательном окислительно-восстановительном потенциале в них [4]. На ст. 13 цвет донных отложений по всей глубине керна был темно-коричневым.

**Таблица 2.** Район отбора проб, тип и физико-химические свойства грунтов и концентрация ДДТ и его метаболитов в поверхностном слое донных осадков р. Салгир

№	Район	Типы донных осадков	ЕВ, %	$C_{орг}$ , %	ДДЭ, нг/г	ДДД, нг/г	ДДТ, нг/г	ДДТ/ ДДЭ
1	с. Доброе	Заиленный песок	28.2	0.85	5.67	1.66	1.73	0.31
2	с. Белоглинка	То же	30.5	0.91	3.19	2.13	7.60	2.38
3	с. Совхозное	Заиленный песок с галькой и ракушей	24.2	0.82	40.67	3.71	10.83	0.27
4	с. Красная зорька	Черный ил	87.8	5.63	143.69	19.44	107.59	0.75
5	с. Новоандреевка	То же	30.6	4.02	8.46	1.14	6.71	0.79
6	с. Новозуевка	Темно-серый ил	43.5	1.94	54.48	7.25	4.99	0.09
7	с. Искра	То же	46.1	3.55	111.08	12.66	11.39	0.10
8	с. Пятихатка	Песчанистый ил с галькой, мусором	22.9	2.74	158.89	15.36	81.64	0.51
9	с. Молочное	Ил с гнилостным запахом	40.2	1.91	23.76	23.85	24.07	1.01
10	с. Новогригорьевка	Ил	53.7	2.09	23.50	12.44	2.02	0.09
11	с. Семенное	То же	36.9	0.94	20.46	5.29	0.97	0.05
12	с. Лиственное	Песчанистый ил	29.2	0.23	28.46	1.22	0.13	0.01
13	с. Изобильное	Глинистый ил	36.2	1.19	31.22	2.93	0.28	0.01

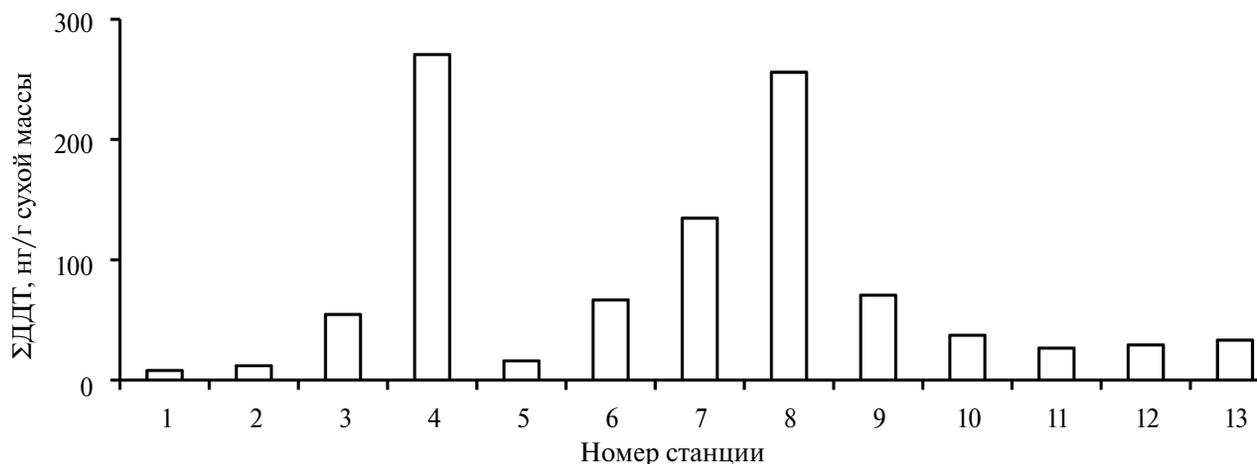


Рис. 3. Концентрация  $\Sigma$ ДДТ в поверхностном слое донных отложений р. Салгир.

В керне на ст. 7 выявлен тренд снижения ЕВ от верхних слоев к нижним. В слоях от 0 до 16 см содержание ЕВ менялось от 65 до 81% (в среднем – 71%). Эти значения свидетельствуют о преобладании тонкодисперсных фракций в грунте. В слоях от 17 до 21 см значения ЕВ колебались от 44 до 60% (в среднем – 54%). На глубине от 22 до 26 см среднее значение ЕВ осадков было наименьшим – 31% (рис. 4а).

В керне донных осадков на ст. 13 значения ЕВ варьировали в узком диапазоне – от 43 до 58%.

В верхних 12 см осадка ЕВ была ниже, чем в нижних слоях, – в среднем 46%, тогда как на глубине от 13 до 22 см она равнялась в среднем 54% (рис. 4а).

Содержание  $C_{\text{орг}}$  в кернах на ст. 7 и 13 по-разному менялось с глубиной (рис. 4б). На ст. 7 отмечено статистически значимое снижение концентрации  $C_{\text{орг}}$  с увеличением глубины, в то время как на ст. 13 подобного тренда не наблюдалось. В верхних слоях от 0 до 16 см среднее значение  $C_{\text{орг}}$  составляло 1.95%, а глубже – от 17 до 22 см – отмечалось повышение содержания  $C_{\text{орг}}$  в среднем до 2.84%.

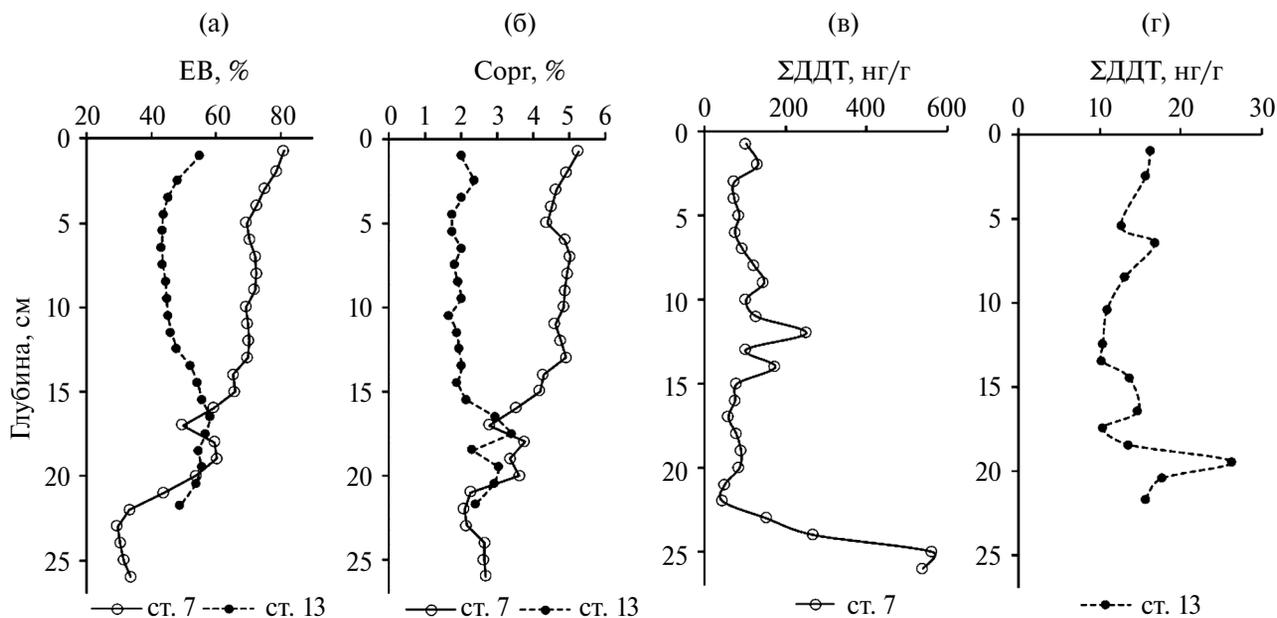


Рис. 4. Профили ЕВ (а),  $S_{\text{орг}}$  (б) и концентрации  $\Sigma$ ДДТ в кернах донных отложений р. Салгир на ст. 7 (в) и ст. 13 (г).

В среднем содержание  $C_{\text{орг}}$  на ст. 7 от поверхностного слоя до глубины 16 см было в ~2.3 раза выше, чем на ст. 13. Это указывает на различные факторы воздействия и условия формирования верхних слоев осадка. В более глубоких слоях — от 17 до 22 см — в обоих районах с учетом погрешности определения среднее содержание  $C_{\text{орг}}$  оказалось одинаковым и составило 2.98 и 2.84% соответственно (рис. 4б).

В колонке грунта на ст. 7 концентрация  $\Sigma\text{ДДТ}$  менялась в широком диапазоне — от 44.3 до 561.7 нг/г (в среднем — 143.9 нг/г). В профиле ее распределения наблюдаются два максимума: первый в слое 11–12 см (250 нг/г), второй — в слое от 21 до 26 см (562 нг/г) (рис. 4в).

Средняя концентрация  $\Sigma\text{ДДТ}$  в керне в слоях от 0 до 22 см на ст. 13 была ниже в 7 раз, чем в этом же интервале глубин на ст. 7, и изменялась в узком интервале от 10 до 26 нг/г (в среднем — 14.4 нг/г) (рис. 4г). Повышенное содержание  $\Sigma\text{ДДТ}$  определено в последних слоях керна в интервале с 19 до 22 см.

#### Распределение ДДТ и метаболитов в кернах донных отложений

Качественный состав ДДТ в колонке на ст. 7 был представлен как исходным пестицидом, так и его метаболитами. В профиле распределения наблюдалось резкое изменение концентраций

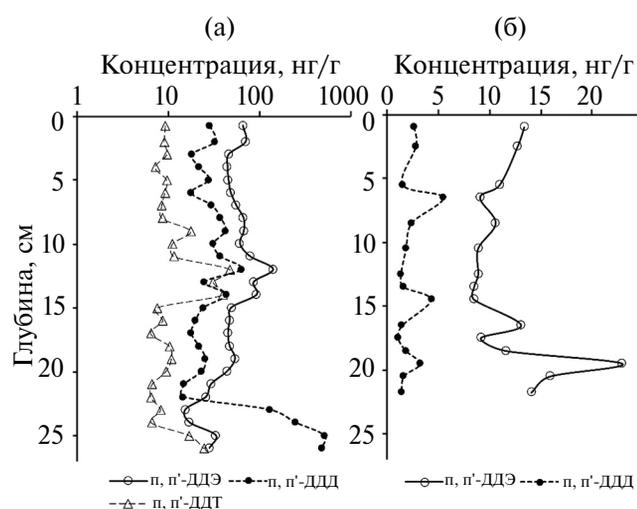


Рис. 5. Распределение ДДТ и его метаболитов в кернах донных отложений на ст. 7 (а) и на ст. 13 (б).

метаболитов ДДЭ и ДДД глубже 22 см. С поверхностного слоя до 22 см доля ДДЭ в сумме концентраций  $\Sigma\text{ДДТ}$  составляла в среднем 59%, в более глубоких слоях она существенно снизилась и стала равна 7%, а доля ДДД увеличилась в этих интервалах глубин в среднем с 32 до 92% (рис. 5).

На ст. 13 исходный пестицид ДДТ был обнаружен только в слое от 6 до 7 см. В суммарной концентрации преобладал ДДЭ, его доля во всех слоях грунтов менялась от 54 до 91% (в среднем — 82%).

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Сравнение уровня концентрации загрязнителей с нормативами

В РФ существуют только региональные допустимые уровни (ДУ) содержания ДДТ в донных осадках [28], где для  $\Sigma\text{ДДТ}$  установлен безопасный уровень в 2.5 нг/г, при концентрации  $\Sigma\text{ДДТ}$  от 2.5 до 10 нг/г осадки считаются слабозагрязненными, при более высокой концентрации — загрязненными. По этим нормам донные отложения на ст. 1 — слабозагрязненные по  $\Sigma\text{ДДТ}$ , в остальных районах — загрязненные.

Максимальная активность  $^{137}\text{Cs}$  (69 Бк/кг) в верхнем слое осадков в районе с. Искра существенно превышала содержание радионуклида в других районах р. Салгир, но была значительно ниже норм, принятых в РФ для морских донных осадков ( $1.5 \times 10^3$  Бк/кг сырой массы) [31], и минимально значимой удельной активности для  $^{137}\text{Cs}$ , равной 104 Бк/кг [32].

### Трансформация ДДТ в донных осадках р. Салгир

В донных осадках ДДТ подвергается различным метаболическим процессам в зависимости от геохимических условий. Ранее было показано, что соотношение метаболитов ДДТ в донных осадках разнотипных водоемов Герacleйского п-ова (Крым) зависело от окислительно-восстановительной обстановки: в анаэробных условиях в бух. Севастопольской ДДТ трансформировался в ДДД, в аэробных в р. Черной — в ДДЭ [27]. В поверхностном слое

донных отложений р. Салгир, в керне на ст. 13 и в верхних слоях керна на ст. 7 отношение концентрации ДДЭ и ДДД (в среднем 7.5, 6.0, 2.2 соответственно) свидетельствует о преобразовании ДДТ микроорганизмами в аэробных условиях. В нижних слоях керна на ст. 7 среднее значение индекса ДДЭ/ДДД было 0.07, что говорит об анаэробной деструкции ДДТ в восстановительных условиях.

По соотношению концентраций исходного ДДТ и метаболитов можно оценить время поступления пестицида в экосистему: если отношение ДДТ/ДДЕ  $> 0.33$ , то такое загрязнение считается свежим [46]. На пяти станциях (2, 4, 5, 8, 9) это соотношение существенно  $> 0.33$  (табл. 2), что свидетельствует о недавнем поступлении ДДТ в эти районы. Наибольшие величины этого отношения определены у сел Белоглинка (ст. 2) и Молочного (ст. 9), а также в районах максимального загрязнения на ст. 4 у с. Красная Зорька и на ст. 8 у с. Пятихатка.

*Факторы, влияющие на содержание и распределение ДДТ в русле р. Салгир*

Русло р. Салгир по уровню антропогенного воздействия ранее было подразделено на несколько зон. Отмечена городская зона интенсивного воздействия, где ниже Симферополя в реку сбрасываются канализационные стоки города [22]. Тем не менее значительного загрязнения ДДТ в донных отложениях Салгира в районе Симферополя не отмечено. К наиболее трансформированным зонам реки по аккумуляции ХОП относится участок русла Салгира от с. Красная Зорька до с. Пятихатка. Причиной поступления ДДТ в экосистему реки в этом районе мог быть смыв остаточных количеств этого пестицида с полей, расположенных на территориях водосборного бассейна Салгира, на которых еще в конце 1980-х гг. для борьбы с вредителями вносили в среднем 6 кг/га пестицидов, в том числе ДДТ [8, 37].

Высокие уровни загрязнения, неравномерный очаговый характер распределения ДДТ, выявление исходного пестицида в донных осадках реки свидетельствуют о том, что в районах ст. 4, 7 и 8 существуют локальные

источники ДДТ. Таковыми могли быть склады с устаревшими пестицидами. Есть данные, что на территории Крыма на 28 полигонах твердых отходов накоплено 866.9 т запрещенных и неопознанных пестицидов, а неофициальные свалки устаревших пестицидов никогда не учитывались [14]. В многочисленных публикациях в СМИ упоминается вывоз устаревших пестицидов из Крыма в 2010-х гг. для их утилизации в Германии [6, 7, 19, 20], но не ясно, насколько эффективные меры при этом были предприняты для предотвращения загрязнения почвы и водотоков. Результаты настоящего исследования показывают, что высокое загрязнение ДДТ в нескольких районах Салгира могло произойти в случае экологически небезопасной переупаковки и транспортировки пестицидов. В дальнейшем необходимо провести исследование почвы на территории этих населенных пунктов.

В нижнем течении реки загрязнение донных отложений оказалось существенно ниже, чем в среднем, это может быть следствием потенциальных возможностей самоочищения р. Салгир под влиянием стока воды основного притока – р. Биюк-Карасу.

Сравнение загрязненности донных отложений Салгира с данными в других реках показало, что концентрация  $\Sigma$ ДДТ в грунтах среднего течения Салгира оказалась наиболее высокой среди сравниваемых районов (табл. 3).

Для выявления взаимосвязи между геохимическими свойствами донных отложений и концентрацией загрязнителей был проведен корреляционный анализ (табл. 4). Полученные результаты указывают на умеренную положительную связь  $C_{орг}$  и ЕВ с концентрацией ДДТ и его метаболитов, но эта связь не является статистически значимой ( $p > 0.05$ ). Вероятно, органические вещества и грансостав осадков могут влиять на адсорбцию и транспортировку загрязнителей в донных отложениях, но основной фактор, определяющий неравномерное распределение пестицидов по руслу реки, – поступление этих веществ в ее экосистему из локальных источников.

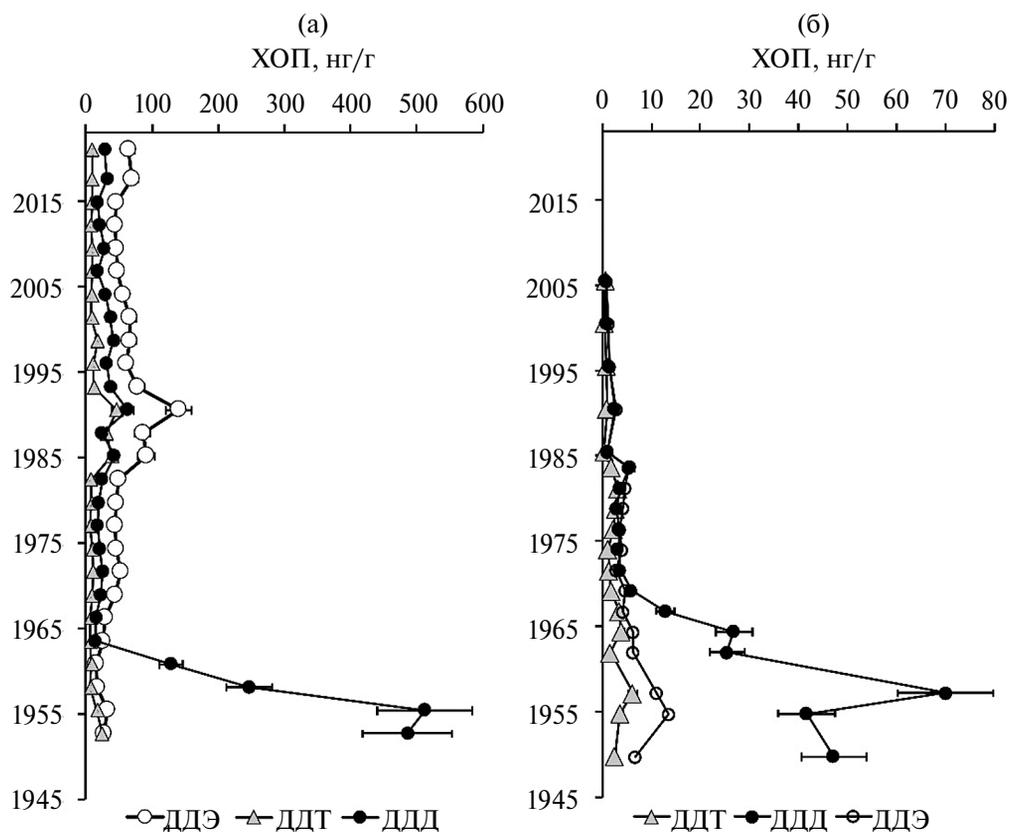
**Таблица 3.** Концентрация  $\Sigma$ ДДТ в поверхностном слое речных донных отложений

Реки	Дата	Диапазоны (среднее) $\Sigma$ ДДТ, нг/г сухой массы	Источник
Эстуарные зоны рек бассейна зал. Петра Великого	2012 г.	6.3–44.7	[24]
р. Ямуна, Дели, (Индия)	Июнь 2018 г.	0.4–18.0	[44]
р. Сомешул-Мик, (Румыния)	Май 2017 г.	1.0–39.2	[41]
р Селе, Южная Италия	Апрель 2020–2021 гг.	0.1–6.1	[42]
Устье р. Черной (юго-восток Крыма)	2020–2021 гг.	7.3–13.6 (10.0)	[27]
р. Салгир	2023 г.	9.1–270.7 (78.7)	д. и.*

\* Данное исследование.

**Таблица 4.** Коэффициенты корреляции между содержанием  $C_{орг}$ , ЕВ, ДДЭ, ДДД, ДДТ в поверхностном слое донных отложений р. Салгир

Компонент	$C_{орг}$	ЕВ	ДДЭ	ДДД	ДДТ
$C_{орг}$	1				
ЕВ	0.77	1			
ДДЭ	0.43	0.42	1		
ДДД	0.32	0.56	0.59	1	
ДДТ	0.47	0.53	0.84	0.65	1

**Рис. 6.** Вертикальное распределение ДДТ и его метаболитов в донных отложениях р. Салгир на ст. 7 (а) в 2023 г. и Чернореченского водохранилища в 2008 г. (б) [25].

*Геохронология распределения ДДТ и его метаболитов в кернах донных осадков*

Оценка скоростей осадконакопления в реках — сложная задача, особенно в условиях паводкового характера рек, когда реки могут превращаться в мощные потоки, транспортирующие большие объемы вещества различного генезиса. Для предотвращения наводнений р. Салгир была зарегулирована, и в 1955 г. было построено Симферопольское водохранилище [29].

Скорость осадконакопления на ст. 7 оказалась равномерной по глубине керна. Это может быть связано с тем, что гидродинамические изменения, вызванные зарегулированием стока реки, снизили значительные колебания уровня воды, что повлияло на сглаживание межгодовых различий в накоплении осадочного материала.

Известно, что в настоящее время в донных отложениях морей и пресноводных водоемов Азии и Европы средний уровень активности  $^{137}\text{Cs}$ , которая соответствует периодам максимума глобальных ядерных испытаний и аварии на ЧАЭС, составляет 10–20 Бк/кг [30]. Активность  $^{137}\text{Cs}$  в заглубленных слоях кернов на ст. 7 и 13  $\leq 16$  Бк/кг (рис. 2), что свидетельствует об их соответствии современному фону. А повышенная активность в поверхностных слоях в этих районах говорят о наличии значимых источников поступления  $^{137}\text{Cs}$  в современный период.

Анализ вертикального распределения соединений группы ДДТ в профиле керна с датированными слоями выявил на ст. 7 увеличение содержания ХОП с максимумом в слоях осадка, соответствующих периоду накопления в 1950–1960 гг. (рис. 6а).

Необходимо отметить, что подобный профиль распределения наблюдали в донных отложениях Чернореченского водохранилища [25], на котором максимум концентрации ДДТ и метаболитов также относился к периоду 1950–1956 гг. (рис. 6б), что свидетельствует о схожести ведения сельскохозяйственных мероприятий на территории Крыма в этот период. Различия распределения ХОП наблюдалось только в их кон-

центрациях, которые в Салгире были в среднем в десять раз выше, чем в водохранилище.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено заметное различие загрязнения по ДДТ и  $^{137}\text{Cs}$  донных отложений в верхнем, среднем и нижнем течении р. Салгир, которое имело неравномерный очаговый характер пространственного распределения. Максимальное содержание  $\Sigma\text{ДДТ}$ , превышающее ориентировочно допустимые уровни в донных отложениях более чем в 10 раз, выявлено в среднем течении реки. В этих районах доля ДДТ в его суммарной концентрации с метаболитами составляла  $>40\%$ . Соотношение метаболита ДДЭ и ДДТ указывает на “свежее” поступление исходного пестицида в экосистему реки. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в районах сел Искра и Изобильного в нижнем течении реки было выше фоновых значений, что свидетельствует о его современном поступлении в районы исследования. Определен период максимальной загрязненности ДДТ донных отложений в среднем течении реки, соответствующий 1950–1960 гг. Локальное присутствие запрещенных пестицидов в донных осадках — долговременный источник загрязнения воды р. Салгир. Требуется принятие мер для выявления источников поступления загрязнителей и защиты ее экосистемы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапкина Г.И., Столбова В.В., Бродский Е.С., Шелечиков А.А., Фешин Д.Б. Приоритетные органические загрязнители в почве дендропарка Ботанического сада МГУ имени МВ Ломоносова. Сообщение 2. Особенности вертикального распределения полициклических ароматических углеводородов в профиле урбо-дерново-подзолистой почвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2015. № 3. С. 37–45.
2. Алексахин И.В., Клименко А.Н., Горбунов Р.В. Анализ плотности загрязнения радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  физико-географических областей Крыма // *Уч. зап. Таврического нац. ун-та. Сер. География*. 2010. Т. 23 (62). № 1. С. 3–9.
3. Андрияшина Т.В., Саратовских Е.А., Чепегин И.В., Чижова М.А. Исследование содержания техногенных загрязняющих веществ в почвах Орловской

- области // Вестн. Казанского технол. ун-та. 2013. Т. 16. № 4. С. 67–72.
4. Батоян В.В., Моисеенков О.В. Оценка техногенного воздействия на водохранилище по донным отложениям // Вестн. МГУ. Сер. геогр. 1983. № 3. С. 65–71.
  5. Булгаков А.А. Моделирование фиксации  $^{137}\text{Cs}$  в почвах // Почвоведение. 2009. № 6. С. 726–731
  6. В Крыму из захоронения под Судакком вывезли 11 т пестицидов и отравленной земли. <https://www.ecoindustry.ru/NEWS/view/37896.html?ysclid=lryovvd1ak200635350>
  7. В этом году из Крыма вывезли более 300 тонн пестицидов. [https://agrobelarus.by/news/rossiya\\_i\\_sng/v\\_etom\\_godu\\_iz\\_kryma\\_vyvezli\\_bolee\\_300\\_tonn\\_pestitsidov/?ysclid=lryouyp3cm596949021](https://agrobelarus.by/news/rossiya_i_sng/v_etom_godu_iz_kryma_vyvezli_bolee_300_tonn_pestitsidov/?ysclid=lryouyp3cm596949021)
  8. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Хоробрых Р.Р., Башкин В.Н. Риск современного загрязнения речных вод пестицидами ДДТ и ГХЦГ // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16(5). № 62–69. doi:10.32686/1812-5220-2019-16-5-62-69
  9. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.
  10. ГОСТ Р 53217–2008 (ИСО 10382:2002). Качество почвы. Определение содержания хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов. Газохроматографический метод с электронозахватным детектором. М.: Стандартиформ, 2009. 20 с.
  11. Гулин С.Б. Радиоизотопная геохронологическая реконструкция загрязнения и эвтрофикации Черного моря // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 519–547.
  12. Гулин С.Б., Егоров В.Н., Стокозов Н.А., Мирзоева Н.Ю. Определение возраста донных отложений и оценка скорости осадконакопления в прибрежных и глубоководных акваториях Черного моря с использованием природных и антропогенных радионуклидов // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 499–518.
  13. Гулин С.Б., Мирзоева Н.Ю., Лазоренко Г.Е., Егоров В.Н., Трапезников А.В., Сидоров И.Г., Проскурнин В.Ю., Поповичев В.Н., Бей О.Н., Родина Е.А. Современная радиоэкологическая ситуация, связанная с режимом функционирования Северо-Крымского канала // Радиацион. биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 6. С. 1–8.
  14. Дубровин И.Р., Дубровин Е.Р. К вопросу об экологической безопасности автономной Республики Крым // Техничко-технол. проблемы сервиса. 2017. Т. 4. № 42. С. 24–28.
  15. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Стокозов Н.А., Мирзоева Н.Ю. Баланс и динамика полей концентраций  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 217–251.
  16. Ежегодник содержания остаточных количеств пестицидов в объектах природной среды Советского Союза Кн. II. Обнинск: Госкомгидромет, 1988. 132 с.
  17. Зыбалов В.С., Крупнова Т.Г. Исследование содержания хлорорганических пестицидов в объектах окружающей среды на территории Челябинской области // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Химия. 2014. Т. 6. № 3. С. 39–43.
  18. Иванютин Н.М., Подовалова С.В., Кременской В.И. Водооборот и антропогенная нагрузка в бассейне реки Салгир // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. 2016. № 4 (24). С. 174–188.
  19. Из Крыма вывезли все пестициды? <http://www.sobytiya.info/news/11/16930?ysclid=lryovcrzot468868891>
  20. Из Крыма вывезли последнюю партию непригодных ядохимикатов. <https://argumenti.ru/society/2013/01/224822?ysclid=lryoul2siw253480896>
  21. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к Ежегоднику за 2020 г.). М.: Росгидромет, 2021. 160 с.
  22. Киселева Г.А., Прокопов Г.А. Выделение участков реки с различной степенью антропогенной преобразованности (на примере р. Салгир) // Устойчивый Крым. Водные ресурсы. Симферополь: Таврида, 2003. С. 139–141.
  23. Куликова-Хлебникова Е.Н., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В. Особенности метаболизма хлорорганических пестицидов в объектах окружающей среды в условиях Горного Алтая // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та. 2011. № 10 (84). С. 50–53.
  24. Лукьянова О.Н., Бродский Е.С., Чуйко Г.М. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. Тюменского гос. ун-та. Сер. Экология. 2012. № 12. С. 119–126.

25. Малахова Л.В., Егоров В.Н., Гулин С.Б., Малахова Т.В., Мосейченко И.Н. Многолетняя динамика содержания хлорорганических соединений и ртути в донных осадках Чернореченского водохранилища // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46. № 4. С. 417–423. doi: 10.31857/S0321-0596464417-423
26. Малахова Л.В., Карпова Е.П., Белозурова Р.Е., Губанов В.В., Прокопов Г.А., Чеснокова И.И., Куршаков С.В., Статкевич С.В., Шавриев Д.Г., Овечко С.В. Хлорорганические ксенобиотики в экосистеме реки Салгир: содержание, распределение, экологический риск // Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 116–133.
27. Малахова Л.В., Лобко В.В., Малахова Т.В., Мурашова А.И. Сравнительная оценка хлорорганического загрязнения донных отложений разнотипных водных объектов Севастопольского региона (Крым) // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. Т. 30. № 2. С. 174–185.
28. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. СПб., 1996. 19 с.
29. Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 214 с.
30. Опекунов А.Ю., Пичугина Д.В., Жеребчевский В.И., Опекунова М.Г. Изучение радионуклидного состава донных отложений рек Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Сер. физическая. 2022. Т. 86. № 8. С. 1184–1189.
31. Р 52.18.873-2018 Рекомендации. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях морских водных объектов. Обнинск, 2019. 25 с.
32. Санитарные нормы и правила СанПиН 2.6.1.2523-09 “Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009” от 01.09.2009. <http://docs.cntd.ru/document/902170553>
33. Сидоров И.Г., Мирошниченко О.Н., Мирзоева Н.Ю., Мосейченко И.Н., Вахрушев М.О. <sup>137</sup>Cs в водной экосистеме Северо-Крымского канала по результатам экспедиционных исследований 2022–2023 гг. // Актуальные вопросы водных и прибрежных экосистем. Сб. материалов Всерос. конф., посвящен. 90-летию со дня рождения О.Г. Миронова. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2023. С. 33–34.
34. Стокозов Н.А. Методика определения радиоизотопов цезия в объектах окружающей среды // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 62–70.
35. Такого не было десятки лет: крымские гидрологи оценили паводок на Салгире. <https://sevastopol.su/news/takogo-ne-bylo-desyatki-let-krymskie-gidrologi-ocenili-pavodok-na-salgire>
36. Трегер Ю.А. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Пути ее реализации в Российской Федерации // Хим. физика. 2012. Т. 31. № 10. С. 33–37.
37. Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды-токсический удар по биосфере и человеку. М.: Наука, 1999. 462 с.
38. Яблоков А.В. Ядовитая приправа. Проблемы применения ядохимикатов и пути экологизации сельского хозяйства. М.: Мысль, 1990. 126 с.
39. Anderson R.F., Schiff S.L., Hesslein R.H. Determining sediment accumulation and mixing rates using <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, and other tracers: problems due to postdepositional mobility and coring artefacts // Canadian J. Fisheries Aquatic Sci. 1987. № 44. P. 231–250.
40. Appleby P.G. Sediment records of fallout radionuclides and their application to studies of sediment-water interactions // Water, Air and Soil Pollution. 1991. № 99. P. 573–586.
41. Barhoumi B., Beldean-Galea M.S., Al-Rawabdeh A.M., Roba C., Martonos I.M., Bălc R., Kahlaoui M., Souffiane T., Tedetti M., Driss M.R., Baciuc C. Occurrence, distribution and ecological risk of trace metals and organic pollutants in surface sediments from a Southeastern European river (Someșu Mic River, Romania) // Sci. Total Environ. 2019. № 660. P. 660–676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.428>
42. De Rosa E., Montuori P., Triassi M., Masucci A., Nardone A. Occurrence and Distribution of Persistent Organic Pollutants (POPs) from Sele River, Southern Italy: Analysis of Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in a Water–Sediment System // Toxics. 2022. 10. P. 662.
43. Fox W., Connor L., Copplestone D., Johnson M., Leah R. The organochlorine contamination history of the Mersey estuary, UK, revealed by analysis of sediment cores from salt marshes // Mar. Environ. Res. 2001. 51. P. 213–227.
44. Kumar B., Verma V.K., Mishra M., Piyush Kakka, V., Tiwari A., Kumar S., Yadav V.P., Gargava P. Assessment of persistent organic pollutants in soil and sediments from an urbanized flood plain area // Environ. Geochem. Health. 2021. 43. P. 3375–3392. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00839-9>

45. Liber Y., Mourier B., Marchand P., Bichon E., Perrodin Y., Bedell J.P. Past and recent state of sediment contamination by persistent organic pollutants (POPs) in the Rhône River: Overview of ecotoxicological implications // *Sci. Total Environ.* 2019. 646. P. 1037–1046.  
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.340
45. Mora de S., Villeneuve J.-P., Sheikholislami M.R., Cattini C., Tolosa I. Organochlorinated compounds in Caspian Sea sediments // *Mar. Poll. Bull.* 2004. 48. P. 30–43.
46. Peivasteh-Roudsari L., Barzegar-Bafrouei R., Sharifi K.A., Azimialim S., Karami M., Abedinzadeh S., Tajdar-oranj B., Mahdavi V., Alizadeh A.M., Sadighara P., Ferrante M., Conti G.O., Aliyeva A., Khaneghah A.M. Origin, dietary exposure, and toxicity of endocrine-disrupting food chemical contaminants: A comprehensive review. // *Heliyon.* 2023. 9. Iss. 7. P. e18140.  
doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18140
47. Tudi M., Daniel Ruan H., Wang L., Lyu J., Sadler R., Connell D., Chu C., Phung D.T. Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment // *Int. J. of Environ. Res. Public Health.* 2021. 18 (3). P. 1112.  
https://doi.org/10.3390/ijerph18031112
48. Vasseghian Y., Hosseinzadeh S., Khataee A., Dragoi E.N. The concentration of persistent organic pollutants in water resources: a global systematic review, meta-analysis and probabilistic risk assessment // *Sci. Total Environ.* 2021. 796. P. 149000  
doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149000

## ASSESSMENT OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF DDT, ITS METABOLITES, AND CESIUM-137 IN THE SEDIMENTS OF THE SALGIR RIVER (CRIMEA)

L. V. Malakhova<sup>a, b, \*</sup>, N. Yu. Mirzoeva<sup>a</sup>, I. N. Moseychenko<sup>a, b</sup>, V. V. Voitsekhovskaya<sup>a, b</sup>,  
T. V. Malakhova<sup>a</sup>, S. V. Ovechko<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Research Center for Freshwater and Brackish Water Hydrobiology, Sevastopol, 299011, Russia

<sup>b</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, 299011, Russia

\*e-mail: malakh2003@list.ru

Spatial and temporal changes in the content and distribution of the organochlorine pesticide p,p'-dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), its metabolites, and cesium-137 have been studied in the sediments of the longest river in Crimea, the Salgir. The spatial distribution of  $\Sigma$ DDT and cesium-137 concentrations exhibited an uneven, focal pattern. The highest levels of  $\Sigma$ DDT, exceeding the approximately permissible levels in sediments by more than 10 times, were found in the middle reaches of the river, near the villages of Krasnaya Zorya and Pyatikhata (270 and 256 ng/g of dry mass, respectively). In these areas, DDT accounted for over 40% of the total concentration of DDT and its metabolites. The ratio of the metabolite DDE to DDT suggests recent input of the original pesticide into the river's ecosystem. The activity of <sup>137</sup>Cs in the surface layer of sediments ranged from 4.4 to 69 Bq/kg of dry mass. Geochronological analysis of <sup>137</sup>Cs distribution in sediment cores from the middle reaches of the river enabled the determination of sedimentation rates, sediment dating, and the reconstruction of  $\Sigma$ DDT input into the river's sediments from the 1950s to the present. A period of maximum DDT contamination in the sediments was identified in the middle reaches of the river, corresponding to the 1950s-60s. The detection of high levels of banned pesticides in the surface layers of sediments points to local sources of contamination, highlighting the need for measures to identify these sources and protect the river ecosystem from further pollution.

**Keywords:** DDT and its metabolites, cesium-137, bottom sediments, Salgir River, Crimea