УДК 504.4.054 *ISSN 1609-0683*
DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/146-153

Скрининг органических экотоксикантов в пробах воды реки Луга

А. Б. Манвелова✉, П. В. Баш

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Российская Федерация (199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39)

Аннотация. *Цель* настоящего исследования – выявление не охваченных стандартным мониторингом органических экотоксикантов на различных участках реки Луга.

Материалы и методы. Проведено нецелевое исследование проб воды реки Луга методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии.

Результаты и обсуждение. В пробах были идентифицированы 27 соединений антропогенного и техногенного характера. Во всех исследованных пробах присутствовали соединения группы фталатов, фенолов, некоторые жирные кислоты и фосфороорганический эфир (трихлорэтилфосфат). Наибольшие концентрации загрязняющих веществ наблюдались вблизи г. Кингисеппа и сброса сточных вод городской канализации.

Выводы. По результатам нецелевого анализа сделан вывод о присутствии в воде ранее недетектированного в объектах экосистемы реки Луга экотоксиканта – трис (2-хлорэтил) фосфата (TCEP) в диапазоне концентраций 0,269-1,409 мкг/л. Соединение относится к группе фосфорсодержащих антипиренов, малоизученных персистентных органических экотоксикантов, проявляющих свойства канцерогенности, нейротоксичности, и вызывающих ряд серьезных нарушений у живых организмов и человека. Полученные результаты дополняют имеющиеся данные о загрязнении реки Луга и могут служить основой для дальнейших исследований.

Ключевые слова: река Луга, загрязняющие вещества, фосфороорганические эфиры, нецелевое исследование, хромато-масс-спектрометрия.

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFZF-2025-0017).

Для цитирования: Манвелова А. Б., Баш П. В. Скрининг органических экотоксикантов в пробах воды реки Луга // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2026, № 2, с. 146-153. DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/146-153

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество производит и использует огромное количество химических веществ, которые могут попадать в окружающую среду различными путями. Непрерывное поступление загрязняющих веществ в водные объекты представляет угрозу для здоровья человека и экосистемы [2]. Некоторые химические вещества могут оказывать серьезное токсическое воздействие даже при очень низких концентрациях [12]. Ряд соединений, особенно хлорированных, обладают персистентностью в окружающей среде [8], они могут сохраняться в питьевой воде после очистных сооружений и попадать в организм человека [3]. Обнаружение таких загрязнителей является одной из ключевых задач экологической аналитики.

В настоящее время применяются методики анализа конкретных групп соединений в различных матрицах, позволяющие определять их следовые концентрации, что важно для контроля качества объектов окружающей среды и других задач. Подобный целевой подход обеспечивает хорошую чувствительность, надежную идентификацию и количественную оценку целевых соединений с использованием стандартов определяемых аналитов. Тем не менее, подход имеет серьёзное ограничение: анализ проводится только по заранее выбранным соединениям. В результате остаются неучтенными «нецелевые» соединения, зачастую обладающие выраженным токсическим потенциалом, и другие группы соединений даже в более высоких концентрациях [7].

Нецелевые исследования включают в себя хромато-масс-спектрометрический анализ в режиме «проба неизвестного состава», основанный на идентификации соединений путем сравнения масс-спектров аналитов с масс-спектрами электронных библиотек (Wiley, NIST). Этот режим дает возможность качественного и полуколичественного анализа (с использованием внутреннего стандарта) широкого спектра соединений, включая ранее неизвестные.

Целью настоящего исследования является выявление не охваченных стандартным мониторингом органических экотоксикантов на различных участках реки Луга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Река Луга – самая протяженная река Ленинградской области (353 км), берет свое начало в южной части Те-

© Манвелова А. Б., Баш П. В., 2026
✉ Манвелова Александра Борисовна, e-mail: abmanvelova@mail.ru
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

совского болотного массива (Новгородская область), впадает в Лужскую губу Финского залива Балтийского моря. Река Луга относится к водным объектам высшего рыбохозяйственного значения, включена в перечень рек, являющихся местами нереста лососевых видов рыб[1].

Рассматриваемая территория, согласно физико-географическому районированию Северо-Запада Европейской части России, относится к Нижне-Лужскому и Нарвско-Лужскому ландшафтным районам Балтийско-Ладожского округа южнотаежной продпровинции Северо-Западной ландшафтной области Русской равнины.

Бассейн реки представляет собой низменную, слабо расчлененную равнину, характеризующуюся малым уклоном местности (0,16 %). Русло р. Луга окружено равнинной местностью, покрытой смешанным лесом. Долина реки сильно выражена, ширина составляет на отдельных участках 300 м. Берега высокие, крутые, в среднем высотой 3-10 м.

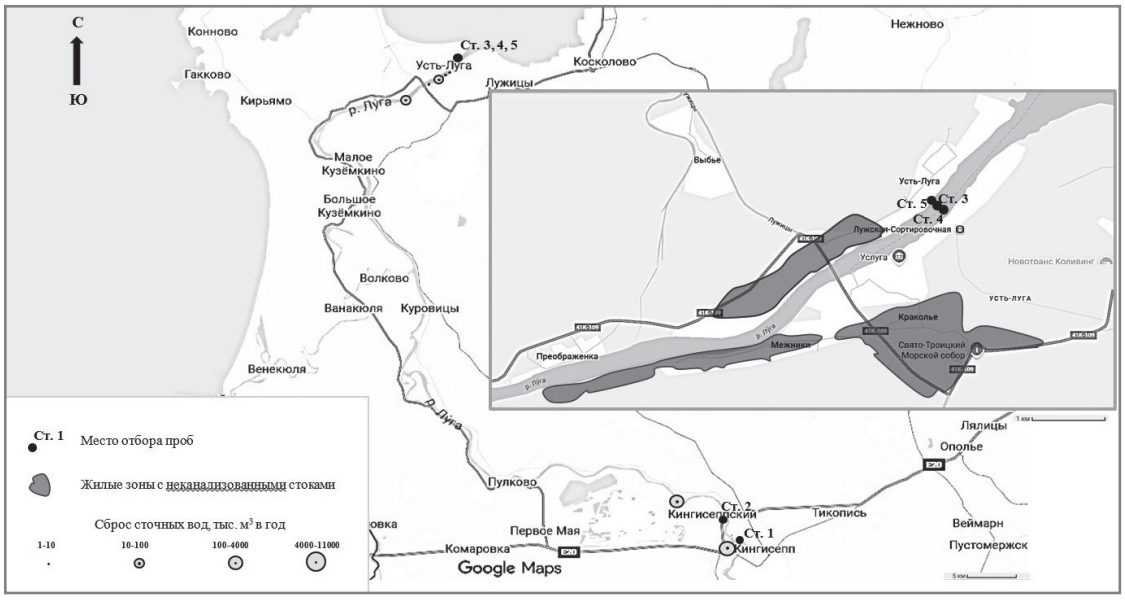
Средний годовой расход воды р. Луга у пос. Усть-Луга за период многолетних наблюдений составляет 103 м^3/с. Средняя скорость течения реки – 0,2-0,5 м/с.

Режим реки характеризуется весенним половодьем, формирующимся за счет таяния снега, повышенной летней и зимней меженью, которые за счет обильного грунтового питания относительно хорошо обеспечены водой, и осенним паводком. В периоды повышения уровней воды на р. Луга, Россонь, Мертвица происходит затопление низинных участков пойм рек, в том числе и территорий населенных пунктов[2]. В устьевой части скорости течения реки при высоких уровнях достигают 1,7 м/с, при низких – от 0,1 до 0,3 м/с. Повышение уровней воды обусловлено не только гидрологическим режимом самой реки, но и влиянием таких факторов, как подпор со стороны Финского залива и нагонные явления из акватории Лужской губы. В период отбора проб нагонных явлений не наблюдалось.

Почвенный покров рассматриваемой территории представлен преимущественно подзолистыми почвами, в основном слабоподзолистого типа, а также дерново-подзолистыми почвами. В структуре земельного фонда бассейна р. Луга преобладают земли водного и лесного фонда. Земли сельскохозяйственного назначения занимают около 5 % рассматриваемой территории[2].

В настоящем исследовании пробы отбирали в пяти локациях, представленных на рисунке 1: станция 1 – в непосредственной близости к г. Кингисеппу, станция 2 – на удалении 1500 м от города, станции 3, 4, 5 – МО «Усть-Лужское сельское поселение», центр, правый и левый берег, соответственно.

Отбор проб воды проводился весной 2022 г. в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020. Процесс пробоподготовки осуществляли по международной методике EPA 8270 (Semivolatile Organic Compounds by GC/MS)[3].



Условные обозначения: расположение точек пробоотбора воды р. Луги: ст. 1 – 500 м ниже г. Кингисеппа, ст. 2 – 1500 м ниже г. Кингисеппа, ст. 3, 4, 5 – приустьевая зона реки Луга)

Рис. 1. Расположение точечных и площадных источников загрязнения
[*Fig. 1.* Location of point and area sources of pollution]

[1] *Постановление Совет Министров РСФСР от 26 октября 1973 года N 554 «Об утверждении перечня рек, их притоков и других водоемов, являющихся местами нереста лососевых и осетровых рыб»; Письмо Федерального агентства по рыболовству от 19.10.2021 № У05-3264.*

[2] *Изменения в схему территориального планирования муниципального образования «Кингисеппский муниципальный район» Ленинградской области. Материалы по обоснованию*, 2021. 508 с. – URL: https://arch.lenobl.ru/ru/dokumenty/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya/shemy-territorialnogo-planirovaniya-municipalnyh-rajonov-leningradskoj/kingiseppskij-municipalnyj-rajon/ (дата обращения: 08.10.2025). – Текст: электронный.

[3] *Techniquesb A. P.: Method 8270D Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS), 1996.*

Идентификация и полуколичественное определение индивидуальных соединений осуществлялись методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии на приборе DSQ II фирмы Thermo Finnigan в режиме полного сканирования ионного тока (SCAN) в диапазоне m/z от 45 до 550, ионизация электронным ударом 70 eV. Для разделения компонентов применяли капиллярную колонку TR-5MS 60 м×0,25 мм×0,25 мкм. Скорость потока 1 мл/мин. Температурная программа: 1 мин. при 40 ˚С, нагрев до 75 ˚С (40 ˚С/мин), нагрев до 150 ˚С (4 ˚С /мин.), нагрев до 280 ˚С (нагрев 5 ˚С/мин.) и выдержкой в 10 минут, и далее 300 ˚С (10 ˚С/мин.) с выдержкой 10 минут. Общее время хроматографирования – 70 мин. Температура ионного источника – 200 ˚С, инжектора – 270 ˚С, интерфейса – 300 ˚С.

Количественное определение содержания компонентов производили с использованием метода внутреннего стандарта 2-фторнафталин (2,5 мкг). Для всех обнаруженных соединений принимали факторы отклика равными 1, концентрации рассчитывали исходя из соотношения площадей сигналов детектированных соединений и площади сигнала внутреннего стандарта. Результаты представлены в мкг/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На всем протяжении река Луга является водоприемником бытовых и промышленных сточных, дренажных, талых, ливневых вод. Река используется в рекреационных целях, является источником питьевого водоснабжения[4].

Вклад в антропогенную нагрузку на экосистему реки Луга вносят крупные точечные источники сброса сточных вод, оказывающие воздействие на качество воды на определенных участках реки. Среди них предприятие по производству химических веществ и водоканалы г. Луги и г. Кингисеппа (в непосредственной близости к которому была выбрана станция отбора проб 1). Кроме того, воздействие на качество воды оказывают распределенные по бассейну реки выпуски хозяйственно-бытовых сточных вод, стоки промышленных предприятий, в том числе в притоки реки Луга: реки Солка, Касколовка, Падожица, Россонь (впадают в р. Луга на отрезке ст. 2 – ст. 3-5).

Устьевая зона р. Луга представляет собой активно развивающуюся территорию с растущим населением и динамично развивающейся промышленностью, в последние годы создаются новые предприятия – портовые терминалы, газохимические и перерабатывающие производства (в этой зоне располагались точки отбора проб 3-5).

В пределах территории МО «Усть-Лужское сельское поселение» (приустьевая зона) основной объем загрязняющих веществ в воды реки поступает с талыми и дождевыми водами с неблагоустроенных селитебных и промышленных территорий и недостаточно очищенными коммунально-бытовыми стоками. Стоки от жилой застройки, в основном расположенной на левом берегу р. Луга, поступают на канализационные очистные сооружения (КОС) и после очистки сбрасываются в Лужскую губу Финского залива. На территории муниципального образования «Усть-Лужское сельское поселение» располагается большой частный сектор. Территория частного сектора не канализована. Сбор стоков от частных домов, не охваченных системой централизованной канализации, осуществляется в септики, выгребные ямы и др.[5]

В результате проведенного нецелевого анализа органических загрязнителей в пробах воды реки Луга всего было достоверно идентифицировано 27 соединений. В каждой точке отбора проб были обнаружены соединения группы фталатов, некоторые жирные кислоты, фосфороорганический эфир (трихлорэтилфосфат), фенол, 1-гексадеканол, 2-этилгексанол. Они относятся к загрязнителям антропогенного и техногенного характера, включая сложные эфиры этих соединений, которые могут быть продуктами их деструкции под влиянием физических и химических факторов окружающей среды. Для большей части обнаруженных соединений ПДК в воде водных объектов не установлены.

При интерпретации результатов нецелевого анализа проб воды реки Луга все соединения были условно сгруппированы в зависимости от области применения и для наглядности представлены в двух столбцах графика для каждой пробы: загрязнители техногенного характера и соединения хозяйственно-бытового происхождения (рис. 2). Соединения преимущественно техногенного характера (см. рис. 2 отражены в левых столбцах) разделены на следующие группы: пластификаторы, пластификаторы фталатной группы, компоненты полимерных композиций – это соединения, широко применяемые в промышленности для производства полимеров, лаков, стройматериалов и прочей продукции. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что материалы, содержащие эти компоненты, активно используются и в быту, что может сопровождаться выделением токсичных соединений в окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла продукции.

В группу «*Пластификаторы фталатной группы*» включены обнаруженные в пробе неизвестного состава диметилфталат (DMP), диэтилфталат (DEP), диизобутилфталат (DiBP), моно-(2-этилгексил)фталат (MEHP). Эти соединения в основном используются в качестве пластификаторов при производстве пластмасс, резины, поливинилхлорида и других полиэтиленовых изделий для улучшения их свойств [5]. Фталаты содержатся в широком перечне промышленных, потребительских то-

[4] *Генеральный план муниципального образования «Усть-Лужское сельское поселение» Кингисеппского муниципального района Ленинградской области (актуализированная редакция). Материалы по обоснованию, 2021.*

[5] *Генеральный план муниципального образования «Усть-Лужское сельское поселение» Кингисеппского муниципального района Ленинградской области (актуализированная редакция). Материалы по обоснованию*, 2021.

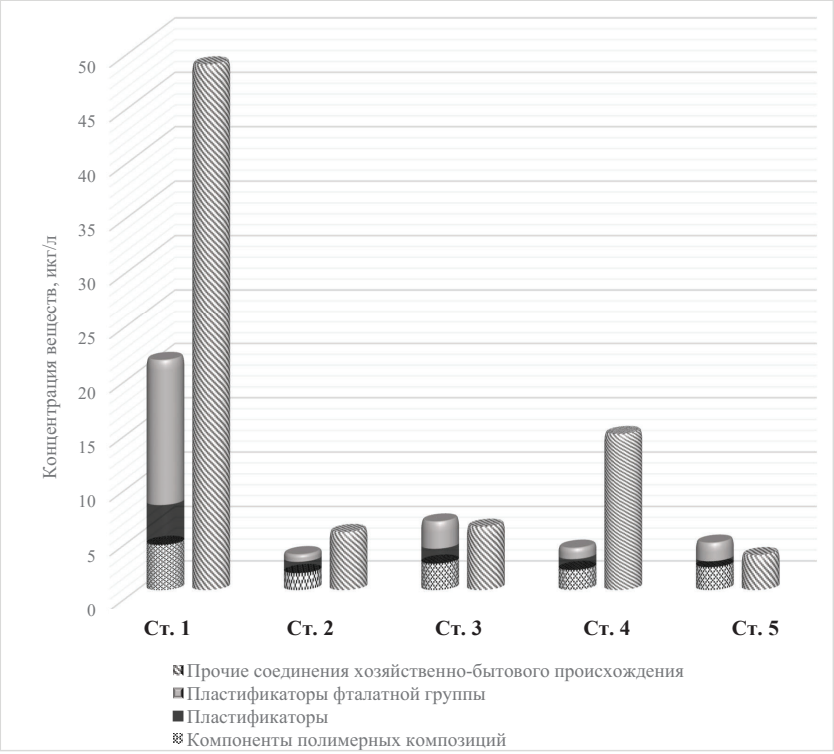


Рис. 2. Распределение содержания органических загрязняющих веществ в воде на различных участках р. Луга [*Fig. 2.* Distribution of organic pollutant content in water at different sections of the Luga River]

варов и товаров личной гигиены. Их метаболиты часто обнаруживаются в измеримых концентрациях в водных экосистемах из-за высокого объема производства и потребления, непрерывного поступления в водную среду, а также благодаря их физико-химическим свойствам (низкой летучести, термической стойкости, высокой стабильности). Согласно исследованиям [5, 11] пластификаторы фталатной группы обнаруживаются в пробах природной воды в концентрациях от 0,0001 мкг/л до 300 мкг/л по всему миру. В нашем исследовании диапазон суммарной концентрации всех детектированных соединений пластификаторов фталатной группы в пробах реки Луги составлял 0,667-13,319 мкг/л.

Установленные концентрации моно- (2-этилгексил) фталата (MEHP) в пробах р. Луга, сопоставимы с концентрациями MEHP в водах р. Тама (Токио), где они детектируются на уровне 0,010-1,30 мкг/л [11]. Так, на станциях 2-5 в воде р. Луги концентрация MEHP составляла 0,3-0,7 мкг/л, однако в точке, ближайшей к г. Кингисеппу (ст. 1), содержание MEHP возрастало до 3,1 мкг/л.

Другие соединения группы фталатов, DMP и DEP, детектированы на уровнях 0,07-0,11 и 0,04-0,15 мкг/л соответственно. Тенденция к повышению концентрации веществ при приближении к г. Кингисеппу также сохраняется для этих соединений. Установленные концентрации не превышают ПДК[6] и сопоставимы с полученными значениями для реки Тама (0,010-0,092 мкг/л) [11].

Обнаруженные в пробах соединения 2-этилгексанол и три-хлороэтилфосфат объединены в группу «*Пластификаторы*». Эти соединения применяются в полимерных материалах для улучшения их свойств. В пробах 2-Этилгексанол обнаруживается на уровне 0,274-2,252 мкг/л, что не превышает $ПДК_{рыбхоз}$. Присутствие в природной воде данного соединения указывает на диффузные источники отходов пластика, деструкцию строительных и бытовых материалов, а также поступление с коммунальными стоками.

Во всех пробах в диапазоне концентраций 0,269-1,409 мкг/кг детектирован трихлорэтилфосфат или трис(2-хлорэтил)ортофосфат (TCEP), который относится к фосфороорганическим эфирам (ФОЭ). ФОЭ получили широкое распространение вследствие упрощения технологического процесса производства полимеров, а также благодаря их низкой стоимости и хорошим огнестойким характеристикам [8]. TCEP является новым потенциально опасным для экосистемы соединением. В ряде стран вводятся постепенные запреты на его применение [1].

Основными процессами, способствующими переходу ФОЭ в воду, являются диффузия, осаждение и испарение [8]. Трихлорэтилфосфат плохо поддается очистке в сточных водах стандартными методами, а его содержание в стоках велико, что объясняется повсеместностью использования TCEP в производстве полимеров широкого спектра применения (от бытовых

[6] *Приказ Росрыболовства от 26.05.2025 N 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».*

товаров до строительных материалов). Соединение выделяется на всех стадиях жизненного цикла продукции, содержащей полимеры, в результате различных процессов, таких как улетучивание, выщелачивание, истирание и растворение [13].

ФОЭ присутствуют и в бытовых пространствах, они были обнаружены в воде, атмосферных осадках, живых организмах, в воздухе и пыли помещений, питьевой воде [4, 6, 8]. Источниками поступления его в водные объекты могут быть сбросы городской канализации, промышленные стоки или полигоны складирования промышленного и бытового мусора [6, 8].

Максимальная концентрация ТСЕР – 1,409 мкг/л, зафиксирована в точке, расположенной ближе всего к г. Кингисеппу (ст. 1) и предполагаемого сброса сточных вод городской канализации, а при удалении на 1500 м от источника поступления загрязнений (ст. 2), содержание снижается до 0,64 мкг/л. Среди вероятных причин снижения концентрации можно привести гидродинамическое разбавление, перемешивание речной воды с поверхностным стоком и грунтовыми водами, оседание загрязняющего вещества в донных отложениях и переход части загрязнителя в пищевые цепи [4, 10, 14]. При этом присутствие ФОЭ в пробах воды даже на удалении от предполагаемого источника свидетельствует о его устойчивости в экосистемах.

В пробах воды в устьевой зоне реки Луга концентрации ТСЕР меняются от середины к берегам, что объясняется сложной структурой течения и характером расположенных на берегах потенциальных источников поступления данного вещества в реку. Более высокое содержание (0,469 мкг/л) ТСЕР в пробе воды ст. 4 (правый берег, приустьевая зона), чем на левом берегу (0,269 мкг/л) может быть связано с поступающими в реку стоками от локальных сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод жилых домов и ливневых стоков, а также территориальной близостью частного сектора, где отсутствует централизованное канализование[7]. Содержание ТСЕР в исследуемых пробах ниже $ПДК_{рыбхоз}$.

Для сравнительной оценки детектированных уровней ТСЕР можно привести работы по р. Хуанхэ, Китай, где по суммарному содержанию ФОЭ обнаруженные концентрации достигают 2,4 мкг/л, причем ТСЕР вносит наибольший вклад (среди 12 целевых ФОЭ) в суммарное загрязнение. Полученные в пробах воды р. Луга концентрации можно также соотнести с исследованиями в других странах: р. Эр, Великобритания – 0,2 мкг/л; р. Янцзы, Китай – 0,6 мкг/л [9]. Концентрация ТСЕР в р. Одер, Франкфурт (Германия) составляли 1,23 мкг/л[8]. Относительно высокая концентрация ТСЕР (ст. 1) в р. Луге отражает, прежде всего, близость к источнику эмиссии, а не состояние всей речной системы – уровни ТСЕР на удалении 1500 м от города и далее по течению реки сопоставимы с диапазоном концентраций, описанным для других рек умеренного пояса.

В исследуемых пробах были обнаружены соединения фенольной группы и их метаболиты, а также бис-тертбутилхинон. Вещества объединены в группу «*компоненты полимерных композиций*», представляют собой характерный маркер поступления в водную экосистему стоков промышленного и коммунально-бытового происхождения. Соединения используются в технологических процессах, связанных с синтезом, модификацией и стабилизацией полимерных материалов. Их суммарное содержание находится в диапазоне 1,5-4,2 мкг/л. При этом концентрации в пробах воды по длине р. Луга в порядке убывания были следующими: вблизи г. Кингисепп (ст. 1 – 4,147 мкг/л) > приустьевая зона реки (ст. 3 – 2,425 мкг/л) > на удалении 1500 м от г. Кингисепп (ст. 2 – 1,551 мкг/л). Таким образом, наибольшее содержание рассмотренных выше соединений характерно для пробы воды, отобранной вблизи г. Кингисепп (ст. 1). Далее по длине реке (1500 м ниже по течению, ст. 2) концентрации рассмотренных соединений снижаются, а в устьевой части реки наблюдается увеличение содержания загрязняющих веществ в пробах воды, что связано с локальным антропогенным воздействием объектов, расположенных на территории МО «Усть-Лужское сельское поселение».

Во всех пробах также детектированы соединения, условно отнесенные нами к группе «*прочие соединения хозяйственно-бытового происхождения»*. Эти органические соединения являются компонентами косметической, фармацевтической, пищевой продукции и бытовой химии (эмоленты, консерванты, растворители, эмульгаторы). Для речных вод их наиболее типичный путь поступления – коммунальные стоки, куда эти вещества попадают от смыва кухонных и моющих средств, средств личной гигиены и прочего.

В группу входят жирные кислоты и их эфиры, например: 1-гексадеканол, изооктиловый эфир додекановой кислоты, стеариновая и миристиновая кислоты и их эфиры, изопропилмиристат, и другие сложные эфиры салициловой и бензойной, додекановой, стеариновой и миристиновой кислот, которые могут быть продуктами их деструкции.

Некоторые из обнаруженных соединений имеют широкий спектр применения. Например, лауриновая и стеариновая кислоты могут применяться как в косметической, так и в пищевой промышленности. Сте-

[7] *Постановление администрации Усть-Лужского сельского поселения Кингисеппского муниципального района Ленинградской области от 07.07.2025 № 359 «Об утверждении актуализированной схемы водоотведения МО «Усть-Лужское сельское поселение» Кингисеппского муниципального района Ленинградской области»*. – URL: https://усть-лужское.рф/wp-content/uploads/2025-Sxema-VO-30.01.2025-1.docx (дата обращения: 10.10.2025). – Текст: электронный.

[8] *Screening Assessment for the Challenge Ethanol, 2-chloro-, phosphate (3:1) (Tris(2-chloroethyl) phosphate [TCEP])* / Chemical Abstracts Service Registry Number 115-96-8 / Environment Canada; Health Canada, 2009.

ариновая кислота, как и миристиновая, применяемая в косметике, также используется и в производстве полимеров и прочих синтетических материалов. Кроме того, некоторые из отмеченных в пробах воды реки Луга вещества имеют смешанный генезис. Миристиновая и стеариновые жирные кислоты могут быть как природного, так и синтетического происхождения. В данном случае их относительно высокие концентрации в пробе на ст. 1 могут быть объяснены близостью сброса сточных вод городской канализации.

Среди данной группы веществ нормативы качества установлены для 1-гексадеканола и для стеариновой кислоты. Первое соединение обнаруживается на уровнях 0,37-1,26 мкг/л, стеариновая кислота детектируется в диапазоне концентраций 0,14-21,16 мкг/л.

Распределение суммарного содержания соединений данной группы по длине реки следующее: вблизи г. Кингисепп – 48,373 мкг/л (ст. 1), на удалении 1500 м от города – 5,234 мкг/л (ст. 2), приустьевая зона, центр – 5,602 мкг/л (ст. 3), правый берег – 13,959 мкг/л (ст. 4), левый берег – 3,092 мкг/л (ст. 5). Такое различие концентраций в точках отбора проб на ст. 4 и 5, как уже указывалось выше, может быть связано с поступающими здесь в реку стоками хозяйственно-бытовых сточных вод жилых домов, ливневых стоков, сбросами сточных вод водопользователей, отсутствием централизованного канализования территорий частного сектора.

Большинство обнаруженных соединений имели сходные пространственные закономерности распределения. Они показали более высокие уровни в точке отбора пробы воды, ближайшей к г. Кингисеппу, что позволяет предположить, что основным источником загрязнения является город, в том числе сбросы с городских очистных сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скрининговый анализ позволяет получить больше информации о качественном составе пробы, выявить новые классы веществ-загрязнителей окружающей среды, а также идентифицировать ранее неизвестные соединения. Такой подход позволяет в одном исследовании идентифицировать широкий спектр соединений, оценить состояние компонентов окружающей среды на основании сопоставимой полуколичественной оценки соединений. В частности, по результатам нецелевого анализа воды реки Луги был сделан вывод о присутствии ранее неизученного в условиях экосистемы р. Луги экотоксиканта – трихлорэтилфосфата, и выявлена выраженная взаимосвязь между предполагаемым источником сброса сточных вод городской канализации и концентрациями этого вещества. Соединение до недавних пор считалось более безопасной заменой полибромированных дифениловых эфиров, однако вещество относится к эндокринразрушающим агентам и показывает признаки персистентности, канцерогенности и нейротоксичности [4, 10, 13, 14].

Наиболее загрязненной как техногенными, так и характерными для хозяйственно-бытовых стоков соединениями, является проба воды, отобранная в непосредственной близости к г. Кингисеппу. Для остальных проб также показано наличие в воде всех рассмотренных групп экотоксикантов, однако, в более низких концентрациях. Значительная часть выявленных соединений характеризуется устойчивостью к стандартным методам очистки сточных вод. В конечном итоге они попадают в природные воды вместе со стоком, что представляет опасность для качества воды и здоровья человека в долгосрочной перспективе.

На основе полученных результатов о присутствии в воде новых персистентных экотоксикантов, не охваченных системой стандартного мониторинга, представляется целесообразным дальнейшие расширенные исследования пространственно-временного распределения их содержания в воде реки Луги. В случае выявления значимых концентраций (повышения содержания) может быть обосновано рассмотрение вопроса об уточнении состава программы регионального гидрохимического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баш П. В. Анализ международных инициатив по ограничению использования органических фосфатов как источников негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду // *Успехи современного* естествознания, 2025, № 1, с. 36-42.

2. Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С. Анализ пространственно-временной динамики загрязнения рек юго-восточной части Калининградской области // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология*, 2025, № 3, с. 102-110.

3. Andresen J., Bester K. Elimination of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in drinking water purification // *Water Resources*, 2006, no. 40, pp. 621-629.

4. Gbadamosi M. R., Abdallah M. A. E., Harrad S. A critical review of human exposure to organophosphate esters with a focus on dietary intake // *Science of the Total Environment*, 2021, no. 771, pp. 144752.

5. Comprehensive insight from phthalates occurrence: From health outcomes to emerging analytical approaches / C. Luís, M. Algarra, J. S. Câmara, R. Perestrelo // *Toxics*, 2021, vol. 9, no. 7, pp. 157.

6. Formal waste treatment facilities as a source of halogenated flame retardants and organophosphate esters to the environment: A critical review with particular focus on outdoor air and soil Y. Ma / W. A. Stubbings, M. A. E. Abdallah, R. Cline-Cole, et al. *// Science of the Total Environment*, 2022, no. 807, pp. 150747.

7. Non-targeted analysis (NTA) and suspect screening analysis (SSA): a review of examining the chemical exposome K. E. Manz / A. Feerick, J. M. Braun, Y. L. Feng et al. *// J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2023, no. 33, pp. 524-536.

8. Organophosphate esters in water and air: A minireview of their sources, occurrence, and air-water exchange N. Marlina / F. Hassan, H. R. Chao, M. T. Latif et al. // *Chemosphere*, 2024, no. 356, pp. 141874.

9. Ecological risk assessment for tris(2-chloroethyl) phosphate to freshwater organisms Y. Qiao / D. Liu, C. Feng, N. Liu et al. // *Frontiers in Environmental Science*, 2022, no. 10, pp. 963918.

10. Rojas C. M., Wiersielis K. R., Roepke T. A. Mechanisms of flame retardant toxicity and their impacts on anxiety and cognition in the brain // *Endocrinology*, 2025, no. 166, pp. bqaf074.

11. Monitoring of phthalic acid monoesters in river water by solid-phase extraction and GC-MS determination / T. Suzuki, K. Yaguchi, S. Suzuki, T. Suga // *Environmental science & technology*, 2001, vol. 35, no. 18, pp. 3757-3763.

12. Suspect and Nontarget Screening for Contaminants of Emerging Concern in an Urban Estuary Z. Tian / K. T. Peter, A. D. Gipe, H. Zhao, et al. // *Environmental Science and Technology*, 2020, vol. 54, no. 2, pp. 889-901.

13. Tudor L. *The identification and quantification of organophosphate flame retardants in raw materials utilized in polyurethane production*, 2022.

14. A comprehensive evaluation of the endocrine-disrupting effects of emerging organophosphate esters Q. Zhang / L. Yang, H. Wang, C. Wu et al. // *Environment International*, 2024, no. 193, pp. 109120.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 17.12.2025
Принята к публикации: 20.05.2026

UDC 504.4.054 ***ISSN 1609-0683***
DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/146-153

Screening of Organic Ecotoxicants in Water Samples of the Luga River

A. B. Manvelova✉, P. V. Bash

St. Petersburg Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(39, 14th line V.O., St. Petersburg, 199178)

Abstract. *The purpose* of this study is to identify organic ecotoxicants not covered by standard monitoring in various sections of the Luga River.

Materials and methods. A non-targeted analysis of water samples from the Luga River was performed using gas chromatography–mass spectrometry.

Results and discussion. Twenty-seven compounds of anthropogenic and technogenic origin were identified in the samples. Compounds belonging to the groups of phthalates, phenols, certain fatty acids, and the organophosphorus ester trichloroethyl phosphate were detected in all analyzed samples. The highest concentrations of pollutants were recorded near the town of Kingisepp and the discharge point of municipal sewage.

Conclusions. Based on the results of non-target analysis, it was concluded that an ecotoxicant previously undetected in the ecosystem of the Luga River – tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP) – is present in the water at concentrations ranging from 0.269 to 1.409 µg/L. The compound belongs to the group of phosphorus-containing flame retardants, poorly studied persistent organic ecotoxicants that exhibit carcinogenic and neurotoxic properties and cause a range of serious adverse effects in living organisms and humans. The findings complement existing data on the pollution of the Luga River and can serve as a basis for further research.

Key words: Luga River, pollutants, organophosphorus esters, non-targeted study, chromatography-mass spectrometry.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FFZF-2025-0017).

For citation: Manvelova A. B., Bash P. V. Screening of Organic Ecotoxicants in Water Samples of the Luga River. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2026, no. 2, p. 146-153. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/146-153

REFERENCES

1. Bash P. V. Analiz mezhdunarodny`x iniciativ po ogranicheniyu ispol`zovaniya organicheskix fosfatov kak istochnikov negativnogo vozdejstviya na zdorov`e cheloveka i okruzhayushhuyu sredu [Analysis of international initiatives to limit the use of organic phosphates as sources of negative effects on human health and the environment]. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya*, 2025, no. 1, pp. 36-42. (In Russ.)

2. Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S. Analiz prostranstvenno-vremennoj dinamiki zagryazneniya rek yugo-vostochnoj chasti Kaliningradskoj oblasti [Analysis of the Spatio-Temporal Dynamics of River Pollution in the South-Eastern Part of the Kaliningrad Region]. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia,* 2025, no. 3, pp. 102-110. (In Russ.)

3. Andresen J., Bester K. Elimination of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in drinking water purification. *Water Resources*, 2006, no. 40, pp. 621-629.

4. Gbadamosi M. R., Abdallah M. A. E., Harrad S. A critical review of human exposure to organophosphate esters with a focus on dietary intake. *Science of the Total Environment*, 2021, no. 771, pp. 144752.

5. Comprehensive insight from phthalates occurrence: From health outcomes to emerging analytical approaches / C. Luís, M. Algarra, J. S. Câmara, R. Perestrelo. *Toxics*, 2021, 9 (7), pp. 157.

© Manvelova A. B., Bash P. V., 2026
✉ Alexandra B. Manvelova, e-mail: abmanvelova@mail.ru
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

6. Formal waste treatment facilities as a source of halogenated flame retardants and organophosphate esters to the environment: A critical review with particular focus on outdoor air and soil Y. Ma / W.A. Stubbings, M.A.E. Abdallah, R. Cline-Cole, et al. *Science of the Total Environment*, 2022, no. 807, pp. 150747.

7. Non-targeted analysis (NTA) and suspect screening analysis (SSA): a review of examining the chemical exposome K.E. Manz / A. Feerick, J.M. Braun, Y.L. Feng et al. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2023, no. 33, pp. 524-536.

8. Organophosphate esters in water and air: A minireview of their sources, occurrence, and air-water exchange N. Marlina / F. Hassan, H.R. Chao, M.T. Latif et al. *Chemosphere*, 2024, no. 356, pp. 141874.

9. Ecological risk assessment for tris(2-chloroethyl) phosphate to freshwater organisms Y. Qiao / D. Liu, C. Feng, N. Liu et al. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, no. 10, pp. 963918.

10. Rojas C.M., Wiersielis K.R., Roepke T.A. Mechanisms of flame retardant toxicity and their impacts on anxiety and cognition in the brain. *Endocrinology*, 2025, no. 166, pp. bqaf074.

11. Monitoring of phthalic acid monoesters in river water by solid-phase extraction and GC-MS determination / T. Suzuki, K. Yaguchi, S. Suzuki, T. Suga. *Environmental science & technology*, 2001, 35 (18), pp. 3757-3763.

12. Suspect and Nontarget Screening for Contaminants of Emerging Concern in an Urban Estuary Z. Tian / K.T. Peter, A.D. Gipe, H. Zhao, et al. *Environmental Science and Technology*, 2020, vol. 54, no. 2, pp. 889-901.

13. Tudor L. *The identification and quantification of organophosphate flame retardants in raw materials utilized in polyurethane production*, 2022.

14. A comprehensive evaluation of the endocrine-disrupting effects of emerging organophosphate esters Q. Zhang / L. Yang, H. Wang, C. Wu et al. *Environment International*, 2024, no. 193, pp. 109120.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 17.12.2025
Accepted: 20.05.2026

Манвелова Александра Борисовна
Научный сотрудник Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0628-7033, e-mail: abmanvelova@mail.ru

Баш Полина Владимировна
Младший научный сотрудник Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0009-0009-6844-8606, e-mail: polli-ant@mail.ru

Alexandra B. Manvelova
Researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0628-7033, e-mail: abmanvelova@mail.ru

Polina V. Bash
Junior Researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation, ORCID: 0009-0009-6844-8606, e-mail: polli-ant@mail.ru