Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 2 / 2025, Vol. 17, Iss. 2 https://esj.today/issue-2-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/84NZVN225.pdf

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Чабина, Е. А. Геоэкологическая оценка реки Охты с использованием ненормируемых показателей воды / Е. А. Чабина, М. Ю. Андрианова // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/84NZVN225.pdf.

For citation:
Chabina E.A., Andrianova M.Yu. Geoecological assessment of the Okhta River using non-regulated water indicators. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(2): 84NZVN225. Available at: https://esj.today/PDF/84NZVN225.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 502; 504

Чабина Екатерина Анатольевна
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Старший преподаватель
E-mail: katyushka-bond@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9570-6051
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=698144

Андрианова Мария Юрьевна
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: maandrianova@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5723-851X
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=193001

Геоэкологическая оценка реки Охты с использованием ненормируемых показателей воды

Аннотация. В статье выполнена геоэкологическая оценка реки Охта на основе нормируемых и ненормируемых показателей качества воды, включая оптические и флуоресцентные характеристики. В ходе исследования собраны и проанализированы пять серий проб воды из различных участков реки, охватывающих русло от истока до устья. Определены цветность, общий органический углерод, ионы аммония, хлорид-ионы, электропроводность, общий азот, оптическая плотность при 254 нм, а также флуоресцентные показатели (интенсивность флуоресценции гуминового и белкового типа на нескольких длинах волн возбуждения и регистрации). Изучена пространственная изменчивость показателей, позволяющая выявить участки с наибольшим антропогенным воздействием. Установлено, что наиболее значительное загрязнение связано с впадением Муринского ручья, несущего хозяйственно-бытовые сточные воды. При этом по ряду нормируемых показателей, связанных с органическими примесями воды, предельно допустимая концентрация не превышена или превышена незначительно. Геоэкологическая оценка с использованием флуоресцентных показателей указывает на замещение в воде органических примесей природного происхождения на антропогенные, причем количество последних в 2–7 раз превышает природный фон. Показано, что флуоресцентные характеристики обладают более высокой чувствительностью к антропогенному воздействию и информативностью при оценке загрязнённости. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования

оптических методов в качестве инструментов экспресс-мониторинга и диагностики экологического состояния водных объектов в условиях урбанизированной среды.

Ключевые слова: геоэкологическая оценка; сточные воды; показатели качества воды; река; флуоресценция; оптическая плотность; общий органический углерод

Введение

Сбросы сточных вод в поверхностные водные объекты оказывают большое влияние на их состояние, которое не всегда оценивается объективно. Не все выпуски в водные объекты принадлежат предприятиям с регулярным производственным экологическим контролем сточных вод. Возможны несанкционированные подключения к ливневой канализации или дренажным системам с прямым выпуском сточных вод в реки. Не исключены разовые сбросы загрязненных жидкостей из неустановленных источников, в том числе водного транспорта.

Загрязнения могут быть зарегистрированы на стационарных постах гидрохимического мониторинга. Однако они обычно расположены на значительном удалении от многих источников примесей, а отбор и анализ проб воды в них проводится всего несколько раз в год. Кроме того, разбавление примесей и процессы самоочищения в водных объектах маскируют факт загрязнения и не способствуют выявлению его источников.

Своевременное выявление загрязнения возможно с помощью экспресс-методов анализа. Перспективным является измерение собственной флуоресценции воды, возбуждаемой УФ-излучением, которая обусловлена растворенным органическим веществом (РОВ) воды [1–4]. Для природных и сточных вод спектры флуоресценции имеют качественные отличия по интенсивности излучения I в областях флуоресценции белкового типа $I_б$ (300–360 нм) и гуминового типа $I_г$ (400–460 нм) [1; 5; 6]. Это дает основу для обнаружения загрязнения воды экспрессными методами с помощью флуоресцентных датчиков [7].

Однако поиск зависимостей между интенсивностью флуоресценции I отдельных полос и нормируемыми показателями качества воды связан с методическими сложностями. Помимо варьирования состава и свойств РОВ природных и сточных вод, на флуоресцентный сигнал влияют и такие факторы как оптическая плотность пробы, дисперсное состояние ее примесей, процессы при транспортировке и хранении пробы до анализа, ее пробоподготовка.

В связи с этим корреляции между интенсивностью флуоресценции белкового типа ($I_б$) и значениями нормируемых показателей, отражающих концентрацию органических примесей в воде, таких как биохимическое потребление кислорода за пять дней ($БПК_5$), химическое потребление кислорода (ХПК), общий органический углерод (ООУ), во многих случаях не обнаруживались [1; 2].

Ряд исследователей полагают, что, как показатель для мониторинга качества воды, интенсивность флуоресценции обладает большей чувствительностью и гибкостью, чем $БПК_5$. Предлагается «отвязать» эти показатели друг от друга, используя первый в качестве самостоятельного индикатора присутствия биоразлагаемых органических примесей воды [8; 9].

Цель работы состояла в проведении геоэкологической оценки качества воды реки Охты с использованием ряда ненормируемых флуориметрических показателей, отражающих присутствие «свежих» РОВ из бытовых сточных вод. Задачи работы:

1. На основе литературных данных выбрать нормируемые показатели качества воды, которые могут быть ассоциированы с флуоресцентными показателями.
2. Выполнить отбор проб воды из Охты, провести их химический анализ по выбранным нормируемым показателям и оптический анализ, проанализировать пространственную динамику показателей.

3. Выполнить геоэкологическую оценку Охты с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК), а также фоновых значений, используя в том числе флуоресцентные показатели.

Объекты и методы исследования

Река Охта

Река Охта начинается на Лемболовской возвышенности и имеет протяженность 93 км. Населенные пункты и садоводства расположены у берегов Охты и ее притоков в Ленинградской области. В черте Санкт-Петербурга находятся последние 17,5 км реки. Охта является примером реки Северо-Запада, находящейся под влиянием техногенных сбросов.

Вода Охты обладает особенностями, характерными для большинства рек Северо-Запада России.

Это гидрокарбонатный класс воды (характерен и для большей части территории России); малая минерализация (до 200 мг/л) в незагрязненной части реки (низкая минерализация характерная для рек большей части территории России, средняя (200–500 мг/л) наблюдается у части рек Северо-Запада и других регионов России); средняя (35–120º) или высокая (более 120º) цветность, вызванная присутствием природных органических веществ.[1]

На протяжении многих лет согласно результатам гидрохимического мониторинга (на трех постах ФГБУ СЗУГМС в черте Санкт-Петербурга) Охта является самым загрязненным притоком реки Невы.[2] В Охте периодически регистрировались превышения ПДК по ряду показателей, в том числе случаи высокого загрязнения и экстремально высокого загрязнения.

Отбор проб воды

Отбор проб воды проводили в предварительно промытые стеклянные бутыли объемом 1 литр без добавления консерванта. Пробы хранили при +4…+6ºС в вертикальном положении.

Через день после отбора анализировали верхний слой воды (надосадочную жидкость), без предварительной фильтрации во избежание возможного внесения флуоресцентных примесей. Воду из реки Охты отбирали в период с 2013 по 2017 годы в различные сезоны. Всего проведено пять серий отборов, в рамках каждой из которых собрано до 21 пробы.

---

[1] Алекин О.А. Основы гидрохимии / отв. ред. С.В. Бруевич. — Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1970. — 443 с. — URL: http://www.e-heritage.ru/Catalog/ShowPub/19456 (дата обращения: 1.04.2025).

[2] Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 году, Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, 2016. 168 с. — URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ (дата обращения 10.03.2023).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2022 году / Под редакцией А.В. Германа, И.А. Серебрицкого — СПб.: 2023. — 226 с — URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2023/06/30/40/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%B7%D0%B0_2022_%D0%B3.pdf (дата обращения: 18.03.2024).

Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2023 году / Администрация Ленинградской области, Комитет по природным ресурсам Ленинградской области. — Санкт-Петербург, 2024. — 216 с. — URL: https://kpr.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2024/07/03/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94_%D0%9E%D0%91_%D0%AD%D0%9A%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%99_%D0%A1%D0%98%D0%A2%D0%A3%D0%90%D0%A6%D0%98%D0%98_%D0%92_%D0%9B%D0%95% (дата обращения: 01.12.2024).

Анализ воды

Концентрации общего углерода (ОУ), неорганического углерода (ОНУ), органического углерода (ООУ) и общего азота (ОА) измерялись на анализаторах TOC-Lvpn и TNM-L (Shimadzu, Japan) методом каталитического окисления при 680ºС, погрешность метода ±15 %.

Химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК) воды определяли в лаборатории Полярной академии Санкт-Петербурга.

Электропроводность воды (ЭП) измеряли кондуктометром HI 8713 (HANNA Instruments) с термокомпенсацией. Коэффициент пересчета: 2 %. Погрешность: до ±15 %.

Концентрацию хлоридов и аммония определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 103З (Люмэкс, Россия). Погрешность: до ±15 %.

Оптическую плотность воды (OD_{254}) измеряли на спектрофотометре СФ-56 (ОКБ Спектр, Россия) 200–800 нм для неразведенных и 10-кратно разведенных проб. Погрешность: до ±7 %.

Спектры флуоресценции получали на спектрофлуориметре RF5301PC (Shimadzu, Japan) в пробах, разведенных в 10 раз при длинах волн возбуждения 230 нм и 270 нм (без коррекции на внутренние фильтры). Разведение было выполнено для того, чтобы снизить влияние светопоглощения пробы на флуоресцентный сигнал. В дальнейшем анализировали I на выборочных длинах волн: $I_б$ при 300, 320, 350 нм, $I_г$ при 420 нм. Погрешность измерений: не более ±7 %.

Результаты и обсуждение

1. Показатели сточных вод, которые могут ассоциироваться с флуоресцентными свойствами воды

В бытовых сточных водах значительная часть органических и неорганических примесей входит в состав взвешенных веществ (100–500 мг/л) [10]. После поступления стоков в поверхностные воды их концентрация может снижаться благодаря процессам осаждения (50–75 % взвешенных примесей оседают со скоростью 0,25–1,0 мм/сек, частицы песка — еще быстрее.[3] Поэтому для поиска источника загрязнения лучше ориентироваться на растворенные примеси исследуемой воды. Это логично и при изучении флуоресценции воды, так как она обусловлена РОВ.

Концентрации растворенных и взвешенных форм ООУ в неочищенной сточной воде составляют ориентировочно 75–300 мгТОС/л, $БПК_5$ 100–300 мгO_2/л, ХПК 250–1 000 мгО/л, при этом около 40 % ХПК и $БПК_5$ приходится на растворенные формы концентрации общего азота и общего фосфора в сточной воде составляют 30–100 мгN/л и 5–20 мгP/л, соответственно, при этом 70–80 % приходится на растворенные формы (среди которых преобладают аммонийный азот и фосфаты, соответственно) [10]. Следует отметить, что по данным с городских очистных сооружений, концентрации веществ в поступающих сточных водах ближе к нижней границе вышеуказанных диапазонов[4], возможно благодаря разбавляющему действию атмосферных стоков.

---

[3] Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. — Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. — 704 с. — URL: https://www.c-z-s.ru/doc/water-treatment/study/voronov-yu.v.--yakovlev-s.v.-vodootvedenie-i-ochistka-stoch.pdf (дата обращения 1.04.2025).

[4] Кармазинов Ф.В. [и др.]. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / СПб.: Новый журнал, 2002. — 674 с. — URL: https://spblib.ru/en/catalog/-/books/12364294-otvedeniye-i-ochistka-stochnykh-vod-sankt-peterburga (дата обращения: 01.12.2024).

При формировании хозяйственно-бытовых стоков в воде повышается содержание растворенных солей. Это ведет к увеличению электропроводности воды до 700–1 200 мкСм/см [10]. Концентрация хлоридов в бытовых стоках составляет 30–100 мг/л, но может быть и выше. Если полагать основным источником этих ионов поваренную соль, то должен регистрироваться и рост концентрации ионов натрия.

Таким образом, из химических показателей, которые связаны с растворенным примесями и указывают на поступление сточной воды, можно ориентироваться на электропроводность, а также три показателя с наибольшими концентрациями в стоках: ООУ, общий азот, хлориды. Они были использованы для исследования воды Охты.

2. Характеристика пространственной изменчивости качества воды Охты

2.1 Оценка по химическим показателям

В рамках проведённого исследования отбирали и анализировали пробы воды в 21 точке реки Охта. По совокупности полученных данных реку условно разделили на четыре участка, отличающихся по степени антропогенного воздействия и гидрохимическим характеристикам. Участок 1 (точки 1–5) охватывает отрезок реки близи истока после деревни Елизаветинка, деревни Сарженка, включая область после впадения реки Харвази в Охту. Этот участок характеризовался низкими концентрациями ОА, ЭП и хлоридов.

Ниже по течению расположен участок 2 (точки 6–13). Он начинается от деревни Энколово, проходит мимо деревни Капитолово, сельхозугодий около деревни Лаврики, принимает в себя воды Капральева ручья (загрязненные стоками от прямых выпусков новостроек в Новом Девяткино и Медвежьем стане) и далее следует по границе города до точки 13 перед впадением Муринского ручья в Охту. Концентрации ОА, ЭП и хлоридов в воде на участке 2 выше, чем на участке 1.

Участок 3 представлен одной точкой (14), расположенной сразу после впадения Муринского ручья. Здесь фиксируются пиковые значения ряда показателей (ОА, хлоридов, ЭП, ООУ) в результате значительного локального антропогенного воздействия. Во время исследований Муринский ручей принимал значительное количество (до 60 % общего расхода) бытовых сточных вод от района Гражданка.

Участок 4 (точки 15–21) располагается в нижнем течении реки Охты полностью в черте города, ближе к устью. Точки отбора находятся ниже Охтинского разлива и расположенных рядом с ним предприятий, вблизи впадения рек Лубья и Оккервиль, протекающих по территориям новостроек и садоводств. Вода в этом участке имеет повышенные (в сравнении с участком 1) концентрации ОА, хлоридов, ЭП. Более подробное описание химических показателей по участкам приведено ниже. Нормированные данные по участкам представлены на рисунке 1.

Среди использованных в данной работе показателей ключевыми для выявления сточных вод являются ОА и хлориды. Ближе к истоку Охты (участок 1) ОА составил 0,4–0,9 мг/л, от Энколово до впадения Муринского ручья (участок 2) значения возросли, составив 1,0–4,3 мг/л, пик (после впадения Муринского ручья, участок 3) составил 4,7–9,5 мг/л, затем (участок 4) они держались в диапазоне 2,0–3,1 мг/л. Следует отметить, что в четырех (из пяти) серий отборов наибольший ОА наблюдался после впадения Муринского ручья, возрастая в 1,1–2 раза по сравнению с водой Охты перед притоком. ПДК по общему азоту не предусмотрена, однако в выборочных пробах наряду с ОА определяли и концентрацию ионов аммония. Аммонийный азот составил 24–41 % от ОА для участка 1; 36–77 % для участка 2; 74 % для участка 3; 75–78 % для участка 4. Таким образом, при пересчете на ион концентрация NH_4^+ находилась в

84NZVN225
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

диапазоне: 0,1–0,5 мг/л для участка 1; 0,5–5,0 мг/л для участка 2; 2,1–9,0 мг/л для участка 3; 1,4–2,9 мг/л для участка 4. ПДК аммоний-иона для водных объектов рыбохозяйственного назначения составляет 0,5 мг/л (0,4 мгN/л).

Концентрации хлоридов в воде Охты менялись сходно с ОА, однако в относительном выражении изменения были более существенные. Минимальная ОА была в 24 раза ниже максимальной (0,4 и 9,5 мгN/л), а для хлоридов это различие составило 36 раз (4 и 142 мгCl/л).

Ближе к истоку Охты концентрация хлоридов составила 4–6 мгCl^-/л, от Энколово до впадения Муринского ручья она возросла, составив 11–32 мг Cl^-/л, пик (после впадения Муринского ручья) составил 26–142 мг/л, затем она держалась в диапазоне 21–42 мг/л. Во всех сериях (для которых были данные по хлоридам) повышение наблюдалось после впадения Муринского ручья и Капральева ручья, возрастая в 1,5–9,4 раза по сравнению с водой перед притоком.

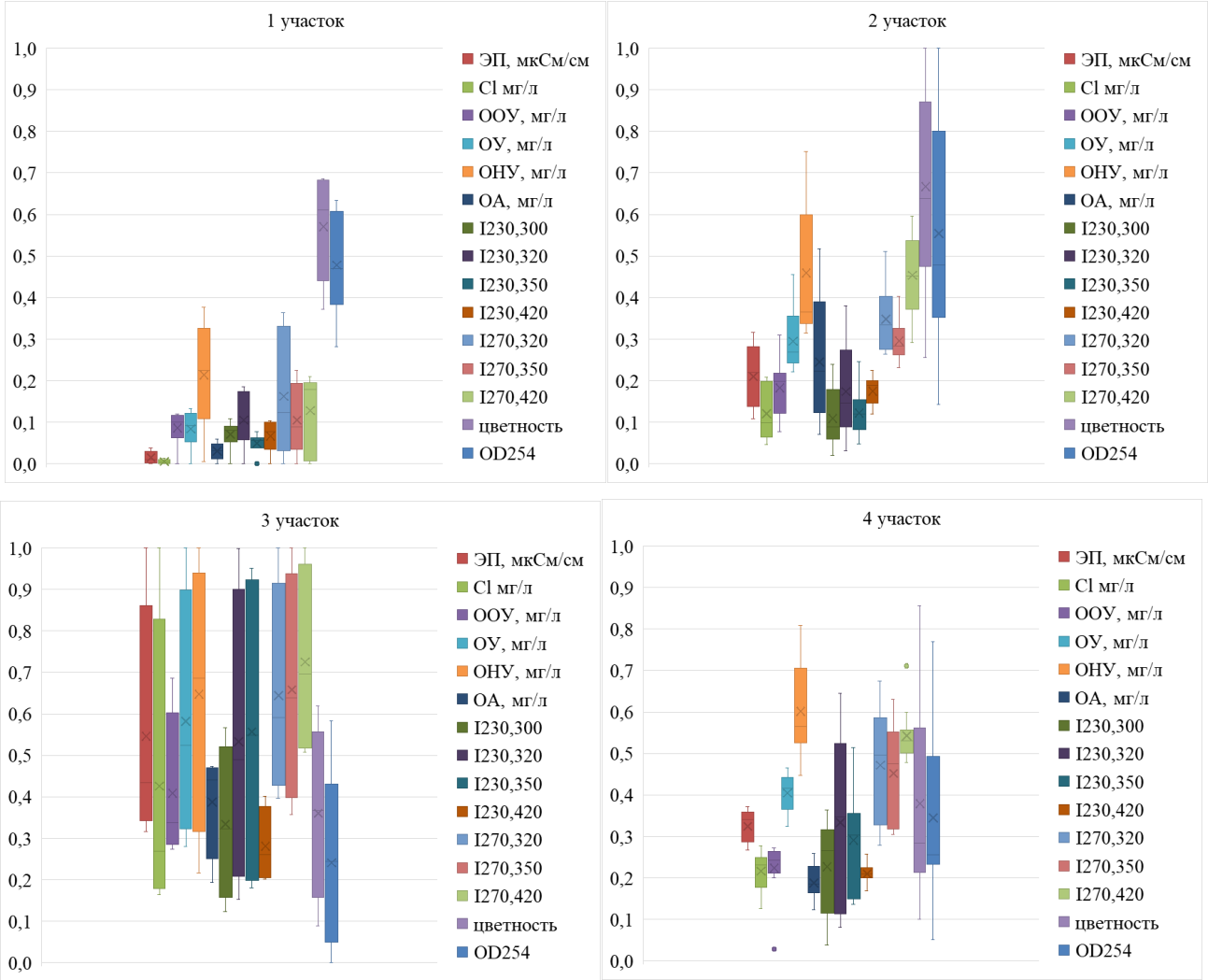

Рисунок 1. *Нормированные данные по четырем участкам реки Охты (составлено авторами)*

Таким образом, данные по ОА и хлоридам подтверждают наличие загрязнения Охты сточными водами, хотя ПДК в местах отбора по этим показателями превышены не были (по СанПиН 1.2.3685-21 для хлоридов 350 мг/л, для общего азота при суммации ПДК по трем минеральным формам азота получаем 12,7 мгN/л). В целом в точках около устья Охты концентрации ОА и хлоридов выше, чем у истока в 1,4–6 раз для ОА, в 3,0–10,4 раз для хлоридов.

Электропроводность также является показателем, указывающим на загрязнение. Для рек Северо-Запада характерная малая минерализация — до 200 мг/л, что соответствует ЭП до примерно 330 мкСм/см. В середине XX века минерализация воды Охты на посту Новое Девяткино оценивалась в диапазоне от 60 до 140 мг/л.[5] В проанализированных пробах воды ближе к истоку Охты ЭП составила 50–75 мкСм/см. Начиная от поселка Энколово и до впадения Муринского ручья она возросла, составив 140–261 мкСм/см. Максимальные (пиковые) значения 351–725 мкСм/см были после впадения в Охту Муринского ручья. В пробах воды из Охты ниже по течению ЭП снижалась за счет разбавления, но держалась в диапазоне 210–300 мкСм/см. При пересчете ЭП на общую минерализацию максимальное значение не превышает ПДК для питьевой воды (1 000 мг/л). В целом в точках около устья Охты ЭП выше, чем у истока в 3,4–5,2 раз.

Концентрация ООУ варьировала не так значительно, однако общие тенденции, описанные выше для ЭП и ОА, сохранились. Концентрации ООУ составили: ближе к истоку 9,7–22,0 мг/л, от Энколово 14,0–34,5 мг/л, после впадения Муринского ручья 9,5–42,7 мг/л, ниже по течению 14,0–36,4 мг/л. В целом в точках около устья Охты концентрации ООУ может быть такой же или и несколько ниже, чем у истока (в 0,9 раза) или несколько выше (в 1,3–1,7 раза).

В то же время из полученных в работе данных следует, что после канализационных выпусков может наблюдаться как повышение, так и понижения ООУ (и ХПК). Таким образом, ООУ как параметр не подходит для выявления антропогенных загрязнений в данном водотоке.

В выборочных пробах были измерены $БПК_5$ в отстоянной воде. На участке 1 они находились в диапазоне 2,4–2,5, на участке 2–2,4–4,3, на участках 3 и 4 в диапазоне 3,5–3,6 $мгO_2$/л, погрешность измерения составила ±26 %. ПДК по этому показателю составляет 2 и 4 $мгO_2$/л в зависимости от вида водопользования. Таким образом, в части проб воды превышение ПДК выходило за рамки погрешности метода, однако различия между участком 1 и загрязненными участками были невелики.

Таблица 1

Соотношение значений показателей в разных сериях проб

	Устье/исток	Пик (после Мур. р. / до него)	Пик (после Мур. р. / исток)
ОА	1,4–6,0	0,9–2,4	3,2–12,6
хлориды	3,0–10,4	1,5–9,8	8,5–21,6
ЭП	2,4–5,2	1,3–5,1	4,5–9,1
ООУ	0,9–1,7	0,6–1,3	0,7–1,9
OD_{254}	0,6–0,8	0,4–1,2	0,4–0,8
Цветность	0,5–0,8	0,4–1,0	0,3–0,9
$I_{230, 300}$	1,4–2,9	1,2–3,2	2,3–4,3
$I_{230, 320}$	1,2–3,4	1,3–2,2	2,2–3,0
$I_{230, 350}$	1,6–5,4	1,3–4,2	2,6–5,3
$I_{230, 420}$	0,9–4,5	1,1–1,8	1,4–2,5
$I_{270, 320}$	1,1–2,8	1,3–2,5	2,1–6,8
$I_{270, 350}$	1,2–3,1	1,3–2,2	2,3–4,3
$I_{270, 420}$	0,9–2,3	1,1–1,9	1,3–2,6

Составлено авторами на основе полученных данных

В таблице 1 показаны относительные изменения показателей в виде диапазона между минимальным и максимальным значением. Перечень показателей приведен в первом столбце. Во втором столбце показано значение в пробе около устья, деленное на значение в пробе,

[5] Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Часть 1, Л.: Гидрометеоиздат, 1972 — URL: https://forum.integral.ru/viewtopic.php?t=18722 (дата обращения: 1.04.2025).

близкой к истоку; в третьем столбце — значение в пробе сразу после впадения Муринского ручья, деленное на значение в пробе сразу перед впадением; в четвертом столбце — значение в пробе сразу после впадения Муринского ручья, деленное на значение в пробе, близкой к истоку. Эти соотношения значений показателей были рассчитаны для оценки степени антропогенного воздействия вдоль течения реки.

2.2 Оценка по оптическим показателям

Оптические показатели могут использоваться для экспрессной оценки качества воды, преимущество которой заключается в безреагентности и бесконтактности измерения. Однако информативность показателя может зависеть от природного фона водного объекта.

Как показали полученные в работе данные, цветность и OD_{254} воды Охты изменяются сходным образом. Цветность варьирует от 56 до 253º (в неразведенной воде), $OD_{254,\ 1\ см}$ от 0,41 до 1,25 (в неразведенной воде). В тех случаях, когда в Охту впадает загрязненный приток (Муринский ручей, Капральев ручей), цветность и OD_{254} остаются прежними или снижаются.

OD_{254} составили: ближе к истоку (участок 1) 0,61–0,92 $см^{-1}$, от Энколово (участок 2) 0,48–1,24 $см^{-1}$, после впадения Муринского ручья (участок 3) 0,36–0,88, ниже по течению (участок 4) 0,40–1,04 $см^{-1}$. Следует отметить, что после впадения Муринского ручья в четырех сериях (из пяти) наблюдалось снижение OD_{254} (в 1,1–2,3 раза), в одной незначительное повышение (в 1,16 раз). В целом в точках около устья Охты OD_{254} примерно такое же или несколько (в 1,2–1,4 раза) ниже, чем у истока.

Цветность на участке 1 находилась в диапазоне: 129–191°, на участке 2: 118–253º, на участке 3: 56–178º, на участке 4: 76–225º. После впадения Муринского ручья в четырех сериях (из пяти) цветность снизилась на 10–60 %, в одной серии — почти не изменилась. В целом в точках около устья Охты цветность стала ниже, чем у истока (табл. 1).

Интересно отметить, что флуоресценция гуминового типа, регистрируемая при 420 нм и характерная в первую очередь для РОВ природных вод, в одной из серий также несколько снизилась (на 10 %) от истока к устью. В остальных сериях ее интенсивность возросла от 1,5 до 4,5 раз, что может быть вызвано как природным причинами, так и примесями сточных вод. В последних присутствует флуоресценция и гуминового, и белкового типа, причем вторая может преобладать над первой. Поэтому смешение природных воды с РОВ и сточных вод ведет к увеличению и $I_б$, и $I_г$.

Таблица 2

Интенсивность флуоресценции воды реки Охта

	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4
$I_{230,\ 300}$	5,8–9,0	6,4–15,7	9,4–35,1	6,9–23,9
$I_{230,\ 320}$	9,1–14,5	10,0–20,1	13,5–38,1	11,4–38,1
$I_{230,\ 350}$	14,2–21,3	18,6–38,2	30,8–101,6	26,7–106,1
$I_{230,\ 420}$	26,3–43,9	46,5–71,3	60,3–93,9	54,9–195,1
$I_{270,\ 320}$	1,0–5,4	3,3–7,3	5,9–13,3	4,4–9,3
$I_{270,\ 350}$	2,8–7,0	7,1–10,3	9,4–21,4	8,4–14,5
$I_{270,\ 420}$	12,7–20,2	23,2–37,1	30,9–48,5	27,8–38,2

Составлено авторами на основе полученных данных

Характеристикой воды, однозначно свидетельствующей о загрязнении, является увеличение флуоресценции белкового типа. Она имеет максимумы, соответствующие полосам флуоресценции аминокислот и белков (300–360 нм). Нефтепродукты также могут флуоресцировать в этой области. Результаты измерений флуоресцентных показателей представлены в таблице 2.

Из данных видно, что во всех вариантах длин волн происходит увеличение $I_б$ от истока к устью, а также сразу после впадения Муринского ручья. Наиболее выражено оно для длины волны флуоресценции 350 нм. Если сравнивать исток и устье, то увеличение составляет от 10 до 440 % (что в большинстве случаев превышает погрешность измерения).

3. Геоэкологическая оценка реки Охты

Геоэкологическая оценка на основе полученных данных выполняется в первую очередь путем сравнения с нормативами.

Аммонийный ион характерен для свежего загрязнения хозяйственно-бытовыми стоками. Его ПДК составляет 0,5 мг иона/л (0,4 мгN/л) согласно Приказу Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 года N 552 и именно это значение используется для мониторинга поверхностных вод. Судя по полученным в работе данным, на участках 2, 3 и 4 ПДК превышена во всех точках. На 1 участке диапазон концентраций ионов аммония составил 0,2–1 ПДК, на 2 участке 1–5 ПДК, на 3 участке 4,2–18,0 ПДК и на 4 участке 2,8–5,8 ПДК. Кроме того, эти результаты превышают данные контроля СЗУГМС, регистрировавшие в Охте концентрации в 2013–2014 годах до 2,9 ПДК[6] и позже до 2,5 мгN(NH_4^+)/л (что составляет 6,25 ПДК).[7] Таким образом, проведенные в рамках данной работы измерения выявили более высокий уровень загрязнения воды, которое начинается еще за границами города.

Результаты измерения ООУ можно пересчитать в нормируемый показатель ХПК (путем деления на 0,375, являющийся отношением молярных масс C и O_2). Значения ХПК составили: на 1 участке 26–59 мгО/л, на 2 участке 37–92 мгО/л, на 3 участке 25–114 мгО/л, на 4 участке 37–97 мгО/л. Таким образом, в большинстве точек превышены требования к ХПК для вод 2 категории водопользования (30 мгО/л), и во всех — для вод 1 категории (15 мгО/л) (СанПиН 3685–21 и ранее действовавший СанПиН 2.1.5.980-00). Минимальное превышение за весь период исследования составляет 1,7 нормы (для водных объектов 1 категории). Максимальное превышение составляло в незагрязненной части 4,8 норм, в загрязненной — 6,5 норм (для водных объектов 1 категории). Оба эти значения выше тех, что были представлены в ежегодных докладах об экологической ситуации за 2013–2015 годы (до 3,4 норм для Охты).

Одной из причин превышения норматива по ХПК для изучаемой реки является высокий природных фон по растворимым органическим веществам, поступающим из лесной подстилки и заболоченных территорий. Для примера можно привести полученные нами данные для лесных рек Харвази (приток Охты) и Ятка (протекает недалеко от истока Охты) — ХПК в них было еще выше и составляло 6,9–7,2 нормы. Следовательно, высокое значение ХПК не следует обязательно расценивать как признак антропогенного загрязнения реки. Аналогичным образом следует расценивать и высокую цветность воды, которая для Охты по нашим данным находится в диапазоне 56–253°, и норматив для которой составляет 20° согласно СанПиН 3685–21.

Для выборочных проб воды из Охты были измерены $БПК_5$. ПДК по этому показателю составляет 2 и 4 мгO_2/л в зависимости от вида водопользования. На участке 1 они находились в диапазоне 2,4–2,5 мгO_2/л, то есть значение было в рамках погрешности метода (±26 %). На 2 участке значения составляли 1,2–2,15 ПДК (1-й категории водопользования), на участках 3 и 4, 1,75–1,8 ПДК. Таким образом, хотя в части проб воды превышение ПДК выходило за рамки погрешности метода, однако различия между участком 1 и загрязненными участками были невелики.

---

[6] Отчет СЗУГМС за 2014 год, Экологический мониторинг — URL: http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=552 (дата обращения 10.03.2023).

[7] Отчет СЗУГМС за 2023 год, Экологический мониторинг — URL: http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=552 (дата обращения 10.06.2024).

Результаты геоэкологической оценки по нормируемым показателями показывают, что река Охта загрязнена сточными водами, однако показатели, связанные с органическими примесями, не являются информативными: превышение ПДК по $БПК_5$ невелико, а повышенные значения ХПК и цветности не всегда связаны с загрязнением. Интересно отметить, что в результате поступления сточных вод в Охту в большинстве случаев цветность и OD_{254} воды не растет, а снижается (табл. 1). В то же время содержание ООУ снижается далеко не во всех сериях проб. Это свидетельствует о замещении органического вещества природного происхождения с высокой цветностью на органическое вещество сточных вод с низкой цветностью.

Для ненормируемых показателей воды проведем сопоставление полученных данных с фоновыми значениями. За природный фон примем участок 1, характеризующийся наименьшими значениями концентраций ОА, ионов аммония, хлорид-ионов и ЭП, свидетельствующих об отсутствии антропогенных загрязнений. Результаты сравнения приведены в таблице 1. Видно, что в направлении от истока к устью есть тенденция к увеличению концентрации ОА, хлоридов, ЭП и флуоресценции белкового типа. Наибольше увеличение (от 3 до 10,4 раз) наблюдается для концентрации хлоридов, концентрация ОА и ЭП изменяются в меньшей степени. Пиковые значения после притока Муринского ручья (участок 3) превышают фоновые (участок 1) в 3,2–12,6 раз по ОА, в 8,5–21,6 раз по хлоридам и в 4,5–9,1 раз по ЭП, при этом, как уже было отмечено ранее, цветность и OD_{254} снижаются на 10–70 %. Флуоресцентные же показатели неизменно растут. Наиболее выраженный рост наблюдается для $I_{230, 350}$, $I_{270, 350}$ и $I_{270, 320}$, которые относится к флуоресценции белкового типа. Увеличение на участке 3 по сравнению с фоном (участок 1) составляет по ним от 2,1 до 6,8 раз, что превосходило различия в $БПК_5$. Таким образом, указанные флуоресцентные показатели имеют преимущество перед $БПК_5$, цветностью и OD_{254} в обнаружении загрязнений бытовыми стоками. Судя по степени увеличения флуоресценции, в реку Охту поступают органические примеси сточных вод в количестве, от 2 до 7 раз превышающем природный фон.

В целом полученные данные выявили в Охте зоны антропогенного загрязнения на участках 2, 3 и 4. Рекомендуется более детальное обследование реки и ее притоков для выявления конкретных источников загрязнения. Для экспрессного безреагентного анализа воды рекомендуется измерение ЭП и $I_{230, 350}$, $I_{270, 350}$ и $I_{270, 320}$.

Заключение

Проведено исследование реки Охта с применением химических и флуориметрических методов анализа воды. Выявлены зоны ее загрязнения в результате хозяйственной деятельности человека начиная от пригорода Мурино и далее до устья. Показано, что флуоресцентные показатели более чувствительны в обнаружении загрязнений, чем ХПК, $БПК_5$, цветность. Судя по степени увеличения интенсивности флуоресценции белкового типа, в реку Охту поступают органические примеси сточных вод в количестве, от 2 до 7 раз превышающем природный фон. Рекомендуется более детальное обследование реки и ее притоков экспрессными методами для выявления конкретных источников загрязнения. Для экспрессного безреагентного анализа воды рекомендуется измерение ЭП и интенсивность $I_{230, 350}$, $I_{270, 350}$ и $I_{270, 320}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Comber S.D.W., Gardner M.J., Gunn A.M. Measurement of absorbance and fluorescence as potential alternatives to BOD — DOI: https://doi.org/10.1080/09593331708616444 // Environmental Technology. — 1996. Vol. 17. pp. 771–776. — URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593331708616444 (дата обращения: 1.04.2025).
2. Vasel J.L., Praet E. On the use of fluorescence measurements to characterize wastewater — DOI: 10.2166/wst.2002.0564 // Water Science and Technology. — 2002. Vol. 45. pp. 109–116. — URL: https://www.pismin.com/10.2166/wst.2002.0564 (дата обращения: 1.04.2025).
3. Трубецкой О.А. Фотохимическая активность и флюоресценция электрофоретических фракций водных гуминовых веществ / О.А. Трубецкой, О.Е. Трубецкая, К. Ришар // Водные ресурсы. — 2009. — Т. 36, № 5. — С. 543–550. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=12901615 (дата обращения: 1.04.2025).
4. Пацаева С.В. Спектрально-оптические характеристики растворенного органического вещества (РОВ) природной воды: измерение и интерпретация / С.В. Пацаева // LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: Материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Санкт-Петербург, 22–26 апреля 2024 года. — Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, 2024. — С. 302–306. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=75153261 (дата обращения: 1.04.2025).
5. Hur J., Hwang S.J., Shin J.K. Using synchronous fluorescence technique as a water quality monitoring tool for an urban river — DOI: 10.5772/28979 // Water, Air, and Soil Pollution. — 2008. Vol. 191, pp. 231–243. — URL: https://www.researchgate.net/publication/221925467_Fluorescence_Spectroscopy_as_a_Potential_Tool_for_In-Situ_Monitoring_of_Dissolved_Organic_Matter_in_Surface_Water_Systems (дата обращения: 1.04.2025).
6. Carstea E., Baker A., Bieroza M., Reynolds D., Bridgeman J. Characterization of dissolved organic matter fluorescence properties by PARAFAC analysis and thermal quenching. — DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.013 // Water Research 15/09/2014, Vol. 61 pp. 152–161. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135414003583 (дата обращения: 1.04.2025).
7. Shin Y.-H., Gutierrez-Wing M.T., Choi J.-W. Review— Recent Progress in Portable Fluorescence Sensors. — DOI: 10.1149/1945-7111/abd494 // Journal of the Electrochemical Society. 168, 017502. — 2021. — URL: https://www.researchgate.net/publication/347682278_Review-_Recent_Progress_in_Portable_Fluorescence_Sensors (дата обращения: 1.04.2025).
8. Hudson N., Baker A., Ward D., Reynolds D.M., Brunsdon C., Carliell-Marquet C., Browning S. Can fluorescence spectrometry be used as a surrogate for the Biochemical Oxygen Demand (BOD) test in water quality assessment? An example from South West England — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.10.054 //Science of The Total Environment, Volume 391, Issue 1, 25 February 2008, Pages 149–158. — URL: https://www.researchgate.net/publication/5793123_Can_Fluorescence_Spectrometry_Be_Usedas_a_Surrogate_for_the_Biochemical_Oxygen_Demand_BOD_Test_in_Water_Quality_Assessment_An_Example_from_South_West_England (дата обращения: 1.04.2025).

9. Андрианова М.Ю., Молодкина Л.М. Спектрофлуориметрический анализ поверхностных вод, загрязненных биоорганическими веществами // Вестник гражданских инженеров. 2008. Т. 3. С. 88–92. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=11684457 (дата обращения: 1.04.2025).
10. Davis M.L. Water and wastewater engineering. Design Principles and Practice. — Издательство McGraw-Hill, 2010 — 1300 с. — URL: https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071713849 (дата обращения 1.04.2025).

Chabina Ekaterina Anatolyevna
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: katyushka-bond@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9570-6051
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=698144

Andrianova Maria Yuryevna
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: maandrianova@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5723-851X
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=193001

Geoecological assessment of the Okhta River using non-regulated water indicators

Abstract. This study presents a geoecological assessment of the Okhta River based on both standardized and non-standardized water quality indicators, including optical and fluorescence characteristics. Five series of water samples were collected and analyzed from different sections of the river, covering its course from the source to the mouth. The following parameters were determined: color, total organic carbon, ammonium ions, chloride ions, electrical conductivity, total nitrogen, optical density at 254 nm, as well as fluorescence indicators (intensities of humic-like and protein-like fluorescence at several excitation and emission wavelengths). Spatial variability of the indicators was studied, allowing the identification of areas with the most significant anthropogenic impact. It was established that the greatest pollution is associated with the inflow of the Murinsky Creek, which carries domestic wastewater. At the same time, for a number of standardized indicators related to organic impurities, maximum allowable concentrations were either not exceeded or exceeded only slightly. The geoecological assessment using fluorescence indicators revealed a replacement of natural organic matter in the water by anthropogenic substances, the concentration of which exceeds background levels by 2 to 7 times. Fluorescence characteristics demonstrated higher sensitivity to anthropogenic impact and proved informative in assessing pollution. The results confirm the applicability of optical methods as effective tools for rapid monitoring and evaluation of the ecological condition of water bodies in urbanized environments.

Keywords: geoecological assessment; wastewater; water quality indicators; river; fluorescence; optical density; total organic carbon