

РОЛЬ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА В ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ РЕКИ САЙМА (ГОРОД СУРГУТ, ХМАО–ЮГРА)

Я. С. Смолка¹⁾, Е. А. Шорникова¹⁾

¹⁾*Сургутский государственный университет,
г. Сургут, Россия, email: smolka_yas@edu.surgu.ru*

Статья посвящена роли микробного сообщества в трансформации органического вещества в воде. В работе представлены результаты исследования гидрохимических и микробиологических показателей качества воды реки Сайма за 2021-2023 год. Отмечена высокая антропогенная нагрузка на водоем. Выявлено превышение нормативов предельно допустимых концентраций. В структуре микробного сообщества наблюдается снижение численности сапрофитных гетеротрофных бактерий и увеличение численности фенолрезистентных бактерий.

Ключевые слова: загрязнение водоемов, река Сайма, оценка качества вод, ПДК, микробное сообщество, численность бактерий.

THE ROLE OF MICROBIAL COMMUNITY IN THE TRANSFORMATION PROCESSES OF ORGANIC MATTER IN THE WATER OF THE SAIMA RIVER (SURGUT, KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – UGRA)

Ya. S. Smolka¹⁾, E. A. Shornikova¹⁾

¹⁾*Surgut State University,
Surgut, Russia, email: smolka_yas@edu.surgu.ru*

The article concerns the role of the microbial community in the transformation of organic matter in water. The results of a study of the hydrochemical and microbiological state of the Saima River water for 2021-2023 are presented. The high anthropogenic load on the river was noted. The excess of the standards of the maximum permissible concentrations was revealed. In the microbial community, there is a decrease in the number of saprophytic heterotrophic bacteria and an increase in the number of phenol-resistant bacteria.

Keywords: pollution of reservoirs, Saima River, assessment of water quality, water quality standards, microbial community, number of bacteria.

Водные объекты под действием химических и биологических процессов могут восстанавливаться к первоначальному состоянию. Химические процессы включают в себя окисление органических и неорганических веществ под действием растворенного кислорода. Наибольший вклад в само-

очищение водных объектов вносят биологические процессы. При биологическом самоочищении водоем освобождается от органического загрязнения с участием микробного сообщества.

Река Сайма является правым притоком крупнейшей реки России – р. Обь, протекает в центральной части г. Сургута и образуется от слияния трех рукавов. Длина правого и левого – 1,5 км, среднего 1,3 км. Площадь водосбора составляет 18,15 км². Ниже слияния рукавов река перегорожена затвором, обеспечивающим пропуск воды в обе стороны. Водный режим характеризуется на 50-60% снеговым питанием с долей 30% дождевого питания. В пределах водосборной площади расположен городской парк площадью 45,3 га.

Исследование проводилось в 2021-2023 году в период с июля по октябрь. Отбор образцов производился из 15 контрольных створов (рис. 1) в соответствии с ГОСТ 59024–2020 [2].

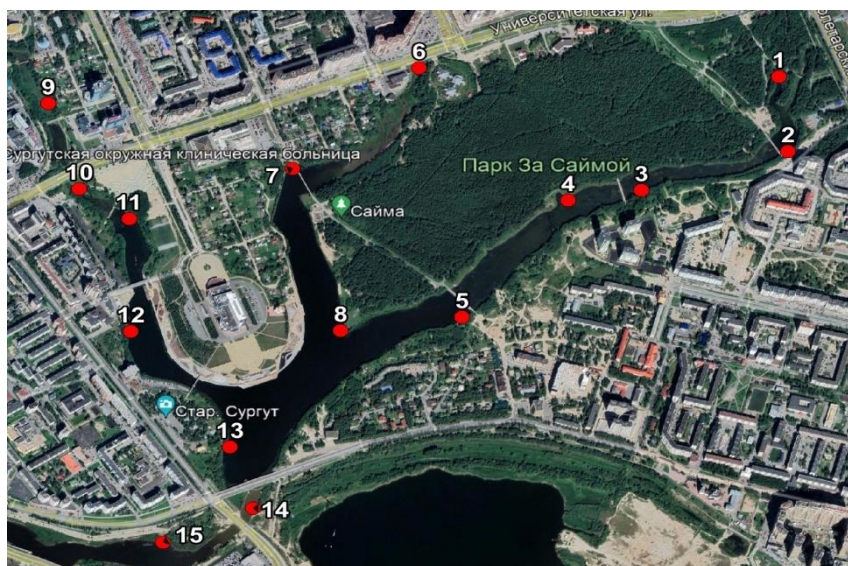


Рис. 1. Схема расположения точек отбора

Пробы анализировались по 9 гидрохимическим и микробиологическим показателям с использованием стандартных методов (табл. 1) на базе лаборатории Экологического мониторинга кафедры экологии и биофизики СурГУ [1]. Концентрации химических веществ в пробах воды сравнивались с нормативами ПДК_в [4].

Полученные результаты гидрохимических и микробиологических исследований представлены в табл. 2, 3.

Водородный показатель влияет на жизнедеятельность микроорганизмов. В реке Сайма за период исследования значение рН варьировало в диапазоне от 7,1 до 9,2 (табл. 2). Для природных водотоков Северо-Западной

Сибири значение рН характерно – 7,01. Во все годы исследования полученные значения отклоняются в сторону щелочной реакции. Это связано с тем, что данный водоем расположен в черте города и испытывает значительную антропогенную нагрузку. В 2023 году в 7 контрольных створах (1,2,4,8,9,12,13) выявлено увеличение значений рН.

Таблица 1

Методы гидрохимических исследований

Определяемый показатель	Метод определения	Нормативный документ
рН	потенциометрический	ПНД Ф 14.1.2:3:4.121-97
Температура	термометрический	ПНД Ф 12.16.1-10
Растворенный кислород	йодометрический	ПНД 0 14.1:2.101-97
БПК ₅	йодометрический	ПВД Ф 14.1:2:3:4.123-97
Перманганатная окисляемость	титриметрический	ПНД Ф 14.1:2:4.154-99
Нефтепродукты	флуориметрический	ПНД Ф 14.1:2:4.128-98

Таблица 2

Динамика гидрохимических показателей в пробах воды

Год	рН	О ₂ , мг/л	БПК ₅ , мг/л	ПО, мг/л	Нефтепродукты, мг/л
2021	7,4 – 8,9	4,4 – 13,2	1,3 – 8,8	2,2 – 10,02	0,006 – 0,14
	7,9 ± 0,3	9,3 ± 1,2	4,1 ± 1,1	6,8 ± 1,1	0,06 ± 0,02
2022	7,1 – 8,3	2,4 – 15,5	0,8 – 6,72	2,4 – 13,7	0,03 – 0,6
	7,8 ± 0,2	8,8 ± 1,8	3,9 ± 0,4	7,6 ± 1,3	0,15 ± 0,07
2023	7,3 – 9,2	5,7 – 12,6	2,02 – 10,5	3,6 – 10,7	0,03 – 0,3
	8,2 ± 0,3	9,9 ± 1,2	5,06 ± 1,3	6,4 ± 1,1	0,14 ± 0,03

Примечание: в числителе приведены минимальные и максимальные значения показателей, в знаменателе – среднее значение ± доверительный интервал.

Содержание растворенного кислорода за период исследования менялось в широком диапазоне от 2,4-15,5 мг/л. 2023 в контрольных створах №4,7,10 снизилось и приобрело минимальные значения. Вода реки Сайма характеризуется высоким насыщением кислорода, за исключением проб № 7 и 10. Дефицит содержания растворенного кислорода в 2022 году наблюдается в 13 % проб. Высокая степень О₂ выявлена в 2021 году – 80 % проб; в 2022 – 47 % проб; в 2023 – 73 % проб.

БПК₅. За период исследования наблюдается увеличение содержания органического вещества. В девяти контрольных створах значения БПК₅

превышают нормативы ПДК_в для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения (4 мг/л), что свидетельствует о высоком содержании в воде органического вещества.

Таблица 3

Численность бактерий различных эколого-трофических групп

Показатель	2021	2022	2023
СГБ, тыс. кл./мл	$\frac{2,47 - 315,4}{89,4 \pm 56,4}$	$\frac{30,4 - 240,7}{78,9 \pm 30,3}$	$\frac{18,9 - 258,5}{110,6 \pm 32,4}$
ФРБ, тыс. кл./мл	$\frac{0,6 - 43,5}{7,9 \pm 5,4}$	$\frac{2,01 - 34,4}{20,8 \pm 5,5}$	$\frac{2,9 - 79,1}{28,9 \pm 12,8}$
БГКП, тыс. кл./мл	$\frac{0,43 - 25,4}{3,7 \pm 3,1}$	$\frac{0,02 - 6,22}{1,9 \pm 0,9}$	$\frac{0,03 - 7,04}{1,9 \pm 0,9}$

Примечание: в числителе приведены минимальные и максимальные значения показателей, в знаменателе – среднее значение $\pm$ доверительный интервал.

Перманганатная окисляемость (ПО). По сравнению с исследованиями 2021-2022 года выявлено снижение значений ПО в водоеме. Согласно нормативным требованиям значение ПО не должно превышать 7 мг/л. В шести контрольных створах содержание органических веществ превышает нормативные данные. Для рек ХМАО характерна повышенная окисляемость [5]. За период исследования обнаружено увеличение содержания органического вещества в контрольных створах №3-4,14-15.

Нефтепродукты являются наиболее распространенным загрязнителем поверхностных вод ХМАО. В 80 % проб вода водного объекта не соответствует нормативам ПДК_в. За период исследования неоднократно наблюдалось присутствие нефтяной пленки на поверхности водного объекта.

Сапрофитные гетеротрофные бактерии (СГБ) участвуют в круговороте органического вещества и способствуют естественному самоочищению водного объекта. За период исследования численность СГБ выросла в пробах №1-5, 9, 12-13, 15. По классификации О.П. Окснюк и В.Н. Жукинского [3] водный объект по качеству воды относится к категории «весьма грязный» – 47% проб и «предельно грязный» – 53 % проб.

Фенолрезистентные бактерии (ФРБ) являются индикаторами длительного фенольного загрязнения. Фенольные соединения в естественных экосистемах появляются при биохимическом распаде органического вещества. В пробах № 1, 5-6, 12, 14 в 2023 году наблюдается высокий скачок численности ФРБ. Такой резкий скачок может быть вызван неорганизованным сбросом сточных вод и строительными работами на площади водосбора. В контрольных створах № 6-7 наблюдалось цветение воды.

Бактерии группы кишечной палочки (БГКП). По классификации О.П. Окснюк и В.Н. Жукинского вся акватория реки относится к категории «достаточно чистая», за исключением пробы № 7, которая относится к категории «слабо загрязненная», это связано со сбросом канализационных стоков частного сектора.

Для определения значимости корреляционной связи между показателями, полученными в ходе исследования, применялся метод параметрической статистики – критерий корреляции Пирсона. На рис. 2 отображены наиболее значимые взаимосвязи между исследуемыми показателями.

Для показателя нефтепродуктов отмечается прямая высокая корреляционная связь с численностью бактерий группы кишечной палочки. Данная взаимосвязь подтверждает антропогенное поступление нефтепродуктов в водный объект.

Определена прямая заметная корреляционная связь между БПК₅ и растворенным кислородом. Насыщенные кислородом водные объекты обладают высокой степенью физико-химической и микробиологической деградации органического вещества.

Обратная заметная корреляционная связь между концентрациями нефтепродуктов и O₂ свидетельствует об эффективной степени самоочищения водного объекта от нефтепродуктов с участием аэробных микроорганизмов.

Выявлены корреляционные взаимосвязи показателей химического состава воды и численности бактерий различных эколого-трофических групп, которые подтверждают роль представителей микробного сообщества в трансформации органического загрязнения в водном объекте.

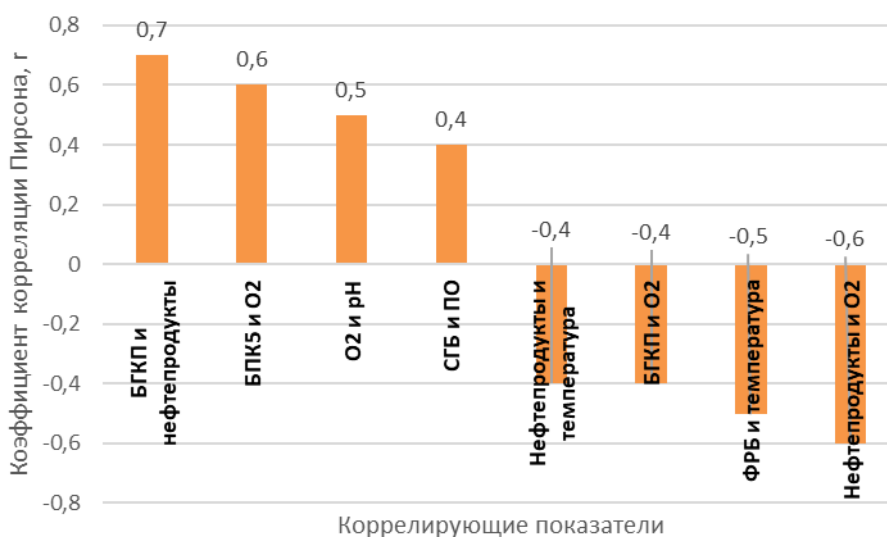


Рис. 2. Корреляционные взаимосвязи в пробах воды

По результатам кластерного анализа (рис. 3) выделены каскадные системы. На дендрограмме выделяются кластерные единицы. Первый кластер включает в себя взаимосвязи, характеризующие протекание круговорота органического вещества в воде под действием кислорода: температура, pH, O₂, ПО, БПК₅, нефтепродукты. Второй кластер образуют бактерии, которые участвуют в трансформации органического вещества. Сапрофитные бактерии замыкают два кластера.

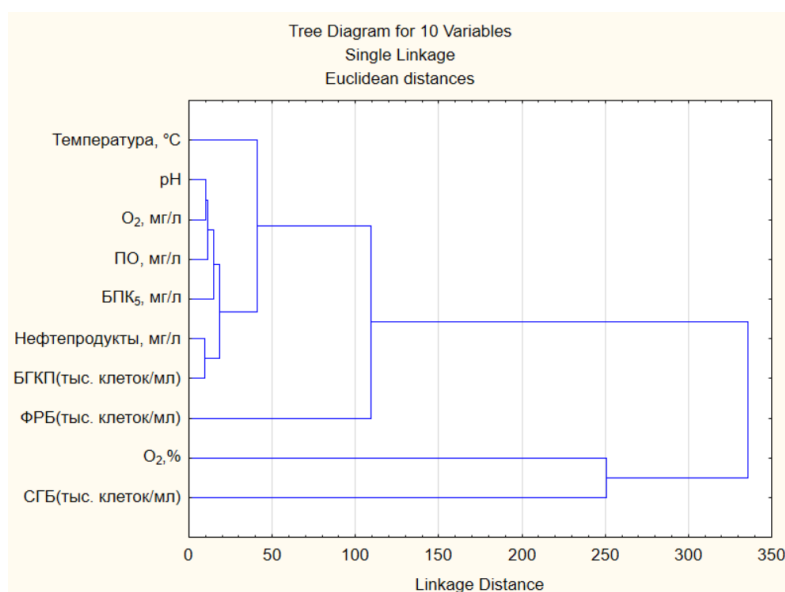


Рис. 3. Дендрограмма иерархической классификации гидрохимических и микробиологических показателей в пробах воды

Закключение. Наиболее загрязненными контрольными створами по результатам исследования являются: 1, 6-7, 14. Установлено несоответствие нормативным требованиям по таким показателям как растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода, перманганатная окисляемость, нефтепродукты. По бактериологическим показателям река относится к классу «грязная». Водный объект испытывает значительную антропогенную нагрузку.

Библиографические ссылки

1. Шорникова, Е. А. Методические рекомендации по планированию, организации и ведению мониторинга поверхностных водотоков: гидрохимические и микробиологические методы. – Сургут: Дефис, 2007. – 88 с.
2. ГОСТ 59024–2020 Вода. Общие требования к отбору проб / Национальный стандарт российской федерации. – М.: Стандартинформ, 2020.

3. Оксийук, О. П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксийук, В. Н. Жукинский, Л. П. Брагинский // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 30. – № 2. – С. 213–221.

4. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания от 28 января 2021 года N 2.

5. Шорникова, Е. А. Гидрохимический режим урбанизированных участков рек Сургутского района / Н. В. Симонян, А. А. Гирлина, Н. В. Бубликова // Наука и инновации XXI века: Мат. V откр. Конф. – 25-26 ноября 2004 г. – Сургут: СурГУ, 2005 г. – С. 132-134.