



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 332.2:551.59:502/504:364.6

doi: 10.55186/25876740_2025_68_6_828

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЗЕРА ТАНГАНЬИКА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ СОВМЕСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.В. Вершинин, Нтиндекуре Арлет Рейн

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу причин и результатов загрязнения озера Танганьика с целью рационального привлечения научных и гражданских исследований для разработки планов стратегического использования и сохранения биоразнообразия озера Танганьика. Это озеро, обладающее уникальным биоразнообразием, является жизненно важным ресурсом для миллионов людей, проживающих на её прибрежных территориях, однако её экология последние годы сталкивается с серьезными антропогенными угрозами, включающими загрязнение и как следствие — истощение водных ресурсов, а также с негативными последствиями изменения климата. В частности, приведены исследования убедительно показывающие, что на увеличение количества колиформных бактерий активно влияет рост трудовой (антропогенной) активности населения и proximity их расселения к береговой линии озера. Указывается, и обосновывается тот факт, что одной из ключевых причин загрязнения водного бассейна озера является загрязнение земель прибрежных территорий. Указывается на необходимость комплексного мониторинга земель, непосредственно примыкающих к береговой линии, а также земель, занятых промышленными предприятиями и городской средой, которые являются основными источниками загрязнения озера. В публикации отмечается, что исследования, проведенные различными зарубежными и местными организациями, с использованием гражданских исследований по оценке состояния озера и тенденций его изменения характеризуются фрагментарностью, отсутствием системности и недостаточной полнотой. Это затрудняет разработку необходимой для государства научно обоснованной политики эффективного управления использованием ресурсов этого уникального объекта природы и его сохранения. В статье подчеркивается важность гражданской науки в мониторинге загрязнения озера и обсуждаются возможности сотрудничества между учеными и местными сообществами для сбора научных данных, способствующих формированию эффективной политики и стратегии управления, направленных на сохранение экологической и природной устойчивости и целостности озера Танганьика. Приведены имеющиеся в настоящее время результаты, которые, по мнению авторов, можно использовать как базовые для их детализации и дополнения на новой методической основе.

Ключевые слова: озеро Танганьика, загрязнение, охрана водных и земельных ресурсов, земли прибрежных территорий, сохранение биоразнообразия, истощение водных ресурсов, мониторинг состояния экосистемы

Original article

ANALYSIS OF POLLUTION IN LAKE TANGANYIKA: ECOLOGICAL AND ECONOMIC CHALLENGES, PROSPECTS FOR JOINT RESEARCH

V.V. Vershinin, Ntindekure Arlette Reine

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Abstract. This article analyzes the causes and consequences of Lake Tanganyika's pollution, aiming to promote scientific and civil research for the strategic management and conservation of Lake Tanganyika's biodiversity. As a vital resource for millions of people living in its coastal areas, Lake Tanganyika's unique biodiversity faces significant anthropogenic threats, including pollution and water resource depletion, as well as the negative impacts of climate change. In particular, the studies convincingly demonstrate that the increase in the number of coliform bacteria is actively influenced by the growth of the population's labor (anthropogenic) activity and their proximity to the lake's shoreline. It is pointed out and justified that one of the key reasons for the pollution of the lake's water basin is the pollution of the coastal areas. It is emphasized that comprehensive monitoring of the lands directly adjacent to the coastline, as well as the lands occupied by industrial enterprises and urban areas, which are the main sources of lake pollution, is necessary. The publication notes that the research conducted by various foreign and local organizations, using civil research to assess the state of the lake and its changing trends, is characterized by fragmentation, lack of systematization, and insufficient completeness. This makes it difficult to develop a scientifically sound policy for the state to effectively manage and preserve this unique natural resource. The article emphasizes the importance of citizen science in monitoring the pollution of the lake, and discusses the possibilities of cooperation between scientists and local communities to collect scientific data that contribute to the development of effective policies and management strategies aimed at preserving the ecological and natural sustainability and integrity of Lake Tanganyika. The article presents the current results, which, according to the authors, can be used as a basis for further details and additions based on a new methodological approach.

Keywords: Lake Tanganyika, pollution, protection of water and land resources, coastal areas, biodiversity conservation, water resource depletion, and ecosystem monitoring

Введение (актуальность проблемы). Озеро Танганьика — тропическое озеро, занимающее глубокую и узкую котловину в западном рукаве Большой Рифтовой долины между 3°30'–8°50' ю.ш. и 29°05'–31°15' в.д. с приблизительной площадью поверхности 32 600 км². Озеро Танганьика имеет стратифицированную и меромик-

тическую структуру. Её стратификация в значительной степени зависит от градиента плотности из-за изменений температуры. На протяжении большей части озера постоянный эпилимнион варьируется по глубине от 0 до 100 м, покрываая металимнион различной толщины, но иногда простирающийся до глубины 250 м. Воды

бескислородны ниже примерно 70 м на севере и 240 м на юге. Имеются данные о наличии постоянного течения, движущегося по часовой стрелке вокруг озера.

В озере Танганьика периодичность внутренних волн составляет от 23 до 33 дней. Эта периодичность находится в квазирезонансе

с колебаниями ветра и в значительной степени определяется одним узлом в районе середины озера. Амплитуда колебаний термоклина, от 15 до 45 м для озера Танганьика, и периодичность зависят от ветрового напряжения, стратификации и глубины термоклина. В дополнение к основным колебаниям спектральный анализ данных о температуре показал существование пиков около 3, 6 и 12 дней.

Далее нами приводятся имеющиеся данные по сбору и анализу образцов воды озера Танганьика, опубликованные в открытых источниках по пяти прибрежным общинам: Гомбе, Киберизи, Уджиджи, Илагала и Караго для оценки уровня загрязнения воды и выявления его источников. Также представлены данные, характеризующие связь между санитарными условиями, методами утилизации сточных вод и качеством воды, что позволяет глубже понять влияние этих факторов на состояние водных ресурсов. На основе полученных данных разработаны рекомендации для улучшения качества воды и санитарных условий в прибрежных сообществах.

Краткий анализ объекта исследования.

Озеро Танганьика, как и многие африканские водоемы, испытывает увеличение нагрузки загрязнения из местных источников. Это особенно актуально для небольших прибрежных городов в муниципалитете Кигома на северо-восточном берегу озера, где большинство из них не имеют интегрированных систем очистки сточных вод. Санитария ограничивается выгребными ямами, сливными туалетами, туалетами со смывом и септическими резервуарами с ограниченной частотой открытой дефекации. Выгребные ямы строятся не для прочности конструкции, а для уединения, и некоторые направляют свои отходы в озеро Танганьика. Некоторые члены рыболовного сообщества, живущие вблизи озера, испражняются прямо в озеро Танганьика в открытом море. Это приводит к многочисленным прямым рискам для здоровья прибрежных сообществ, а также к потере экосистемных услуг, поскольку местная экономическая деятельность (например, рыболовство и сельское хозяйство) зависит от озерной воды, а озерные воды используются для мытья, рыбалки или питья.

Помимо загрязнения воды сточными водами и отложениями, существует также загрязнение пластиком, в основном бутылками из-под минеральной воды и пакетами из пластика. При отсутствии системы переработки и/или сбора (повторного использования) этого пластика в приграничных городах озера Танганьика в четырех прибрежных странах, озеро становится общественной свалкой, куда попадают все не биоразлагаемые отходы. Имеются данные о негативном воздействии проглатывания пластика на рыб в лабораторных условиях.

Пластик, колонизированный бактериями и водорослями в воде, производит запахи, которые заставляют рыб непроизвольно проглатывать его, и это может привести к биоаккумуляции и усилинию микропластика в их мышцах. Затем загрязненную рыбу потребляют люди, явление, которое было отмечено в озере Виктория и которое заслуживает изучения в озере Танганьика. Кроме того, пакеты, срок службы которых составляет не менее 400 лет, покрывают дно озера, снижая их естественные функции поддержки живых сообществ озера.

Чрезмерная эксплуатация рыбных запасов; утрата биоразнообразия; образование осадочных пород в результате вырубки лесов;

неформальные поселения и неустойчивые методы ведения сельского хозяйства, особенно на крутых склонах; беспорядочный сброс хозяйственных и промышленных сточных вод; а также изменение климата.

Эти антропогенные угрозы происходят из-за деятельности людей, которые либо не понимают последствий своих действий, либо из-за бедности не имеют альтернативных действий, либо не осознают важность здоровья окружающей среды.

В совокупности эти угрозы оказывают пагубное воздействие на качество воды в озере и, как следствие, на выживание его уникальных эндемичных видов рыб и другое биоразнообразие, особенно в прибрежных местообитаниях, где видовое разнообразие наиболее впечатляющее. Рыболовство и связанная с ним деятельность в регионе вокруг озера обеспечивают

средства к существованию для миллионов людей и являются важным источником животного белка и дохода.

Растущий спрос на рыбу для местного потребления и продажи на отдаленных рынках увеличил нагрузку на рыболовство до такой степени, что устойчивость рыбного хозяйства озера находится под угрозой. Эти проблемы затрагивают как коммерческое рыболовство в открытом море, так и кустарную деятельность прибрежного рыболовства.

В результате указанного происходит активное загрязнение земель, прилегающих к берегам озера, а также земель, расположенных в зоне промышленно-коммерческой или кустарной частичной переработки и транспортировки рыбных ресурсов. Указанные земельные массивы становятся активными источниками загрязнения водного бассейна озера.



Рисунок 1. Фото озера Танганьика, показывающая загрязнение озера пластиком
(фото из открытых источников)

Figure 1. Photo of Lake Tanganyika showing plastic pollution in the lake (photos from open sources)



Рисунок 2. Рыбалка в озере Танганьика (фото из открытых источников)
Figure 2. Fishing in Lake Tanganyika (photos from open sources)



Незапланированные поселения вдоль побережья и бассейна, использование ненадлежащих методов и орудий лова в запрещенных местах, потери после вылова, устаревшие правила и их слабое применение означают, что рыба становится сокращающимся товаром по всему бассейну озера. Рыбные запасы, которые совместно используются четырьмя прибрежными странами, требуют согласованного и последовательного управления на всех уровнях для смягчения последствий неустойчивых методов рыболовства и давления. Эти подходы потребуют последовательной и гармонизированной системы сбора данных для обоснования стратегических вмешательств.

Прибрежные страны озера Танганьика реализуют ряд мер по мониторингу и контролю рыболовной деятельности, которые включают ограничения на размер ячеек, закрытые зоны и сезоны, наблюдение за лунными перерывами, лицензирование и оценку уловов. Однако из-за нехватки ресурсов эти меры неэффективны и не применяются регулярно. Для эффективного решения этих проблем необходимо реализовать целостный и инклюзивный подход к управлению, включающий заинтересованные стороны в каждой из четырех стран.

16 декабря 2021 года Конференция министров LTA одобрила Региональную хартию по устойчивому управлению рыболовством в качестве нормативного документа, содержащего согласованные конкретные меры управления, ориентированные на три промысловых вида педагогических рыб озера Танганьика, и обязалась обеспечить её реализацию [1]. Хартия была принята и одобрена прибрежными государствами. Однако для её успешного внедрения потребуется надёжный режим мониторинга, обеспечивающий социальное и научное подтверждение прогресса на национальном и региональном уровнях [2].

Существуют также национальные и международные неправительственные организации (НПО) и агентства, занимающиеся управлением рыболовством и сохранением биоразнообразия, а также оказывающие консультативную поддержку организациям государственного сектора. Эти учреждения обладают различной компетенцией в области охраны окружающей среды, такой как развитие водоразделов и лесовозобновление на уровне общин, тем самым дополняя усилия правительства по управлению бассейном озера Танганьика, хотя этого недостаточно, чтобы обратить вспять существующие тенденции [2].

Следует отметить, что традиционный мониторинг качества воды проводился в течение многих лет на озере Танганьика. Проводился он в рамках различных национальных и международных программ [3].

Эти программы дали новую и важную информацию о динамике развития экологических процессов в озере и критических точках перелома её экологического состояния. Исследования проводились: Финским агентством международного развития (ФАО/FINNIDA) по исследованию озера Танганьика (1993–1998); в рамках реализации проекта Глобального экологического фонда (ГЭФ) Всемирного банка развития по исследованию биоразнообразия озера Танганьика (1997–2001).

Кроме того, велись исследования, связанные с изменением климата и его влиянием на состояния озера Танганьика Бельгийским

управлением научной политики (BELSPO) (2002–2006) и исследования в рамках реализации проекта Датского агентства международного развития (DANIDA) по прогнозированию последствий изменения климата в озере Танганьика (CLEAT) (2014–2019) [3].

Однако в этих исследовательских проектах использовались подходы к мониторингу, которые обычно были ограничены во времени, трудоемки и часто требовали использования лодок для сбора образцов воды, которые затем транспортировались в лабораторию для анализа. Поскольку такой мониторинг невозможно легко поддерживать вне рамок этих проектов, мониторинг качества воды в озере Танганьика был прерывистым и непоследовательным.

В этой связи необходимо создать или выявить существующие методы мониторинга, которые бы дополняли имеющиеся данные для того, чтобы поддерживать на долгосрочной основе актуальность информации и, что особенно важно, локально использовать её для оперативных управленческих действий по улучшению качества прибрежной воды.

Важное место в решении отмеченной ранее проблемы мониторинга должно быть отведено гражданской науке, которая широко используется для мониторинга водных сред по всему миру. Гражданская наука (научное волонтерство или общественная наука) это — концепция, а также механизм проведения научных исследований с привлечением широкого круга добровольцев-любителей, также гражданскую науку можно рассматривать как совместную работу ученых и добровольцев, чтобы найти ответы на научные вопросы. Для Бурунди и ряда других стран Африки это совместная работа ученых и добровольцев очень важна, снижает затраты на исследования и создает более полный набор данных. Подготовленные гражданские ученые могут также самостоятельно предоставлять данные о динамике прибрежных вод.

Приоритетом для гражданских учёных во всем мире является мониторинг качества воды; такие успешные проекты, как Freshwater Watch,

представляют данные, которые могут быть использованы для принятия решений на местном, национальном и международном уровнях [4]. Более того, большинство этих усилий сосредоточены на химическом составе и мутности воды, что требует минимальной подготовки и сравнительно недорогого оборудования. Однако из-за весьма значительных расходов и сложности используемых методов значительно меньше исследований гражданской науки были посвящены измерению микробиологического загрязнения.

Важно помнить, что случаи микробного загрязнения в небольших прибрежных сообществах часто связаны с местной деятельностью и инфраструктурой, контролируемыми теми же сообществами. В этой связи невозможно использовать и подтвердить целевые методы смягчения последствий без возможности мониторинга этих условий. В этом мы рассматриваем возможности гражданской науки для помощи в наблюдении и управлении фекальным загрязнением в пресноводных экосистемах.

Материалы и методы. Представленные в данной публикации материалы исследований проводились профессиональными и гражданскими учёными из Танзанийского научно-исследовательского института рыболовства в Центре г. Кигома. В общей сложности каждая группа профессиональных и гражданских учёных собрала и измерила 180 проб воды. Пробы отбирались по общепринятым сертифицированным методикам.

Образцы воды были собраны из поверхностных вод озера в пяти прибрежных общинах с разным уровнем экологического и экономического техногенного воздействия. Все общины находились в муниципалитете Кигома и вдоль озера Танганьика (со стороны Танзании): Гомбе, Кибиризи, Уджиджи, Илагала и Караго. Карта озера Танганьика с указанием мест исследований представлена на рисунке 3.

Обработка полученных данных. Множественные регрессионные анализы были использованы для оценки потенциальных факторов,

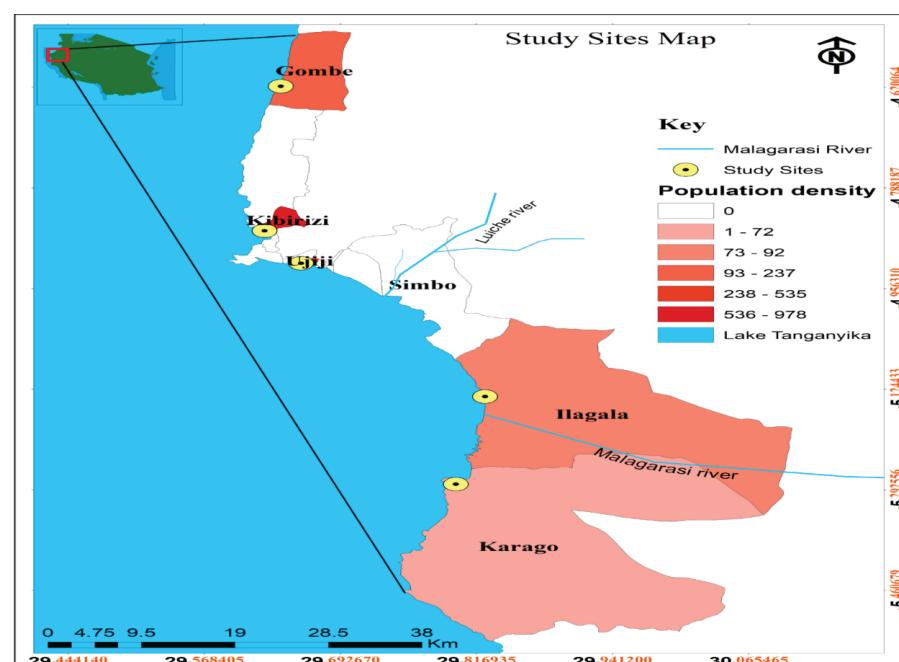


Рисунок 3. Карта озера Танганьика с указанием мест исследований [5]
Figure 3. Map of Lake Tanganyika showing research sites [5]



влияющих на концентрацию колиформных бактерий. Эти факторы включали плотность населения, интенсивность сельского хозяйства, экономическую активность, уклон земли относительно озера, наличие туалетов в домах,

поголовье скота и количество осадков. Общая концентрация колиформных бактерий и фекальных бактерий были зависимыми факторами. Все данные были протестированы с помощью поправки Бонферони для множественных

корреляций в Realstats с уровнем альфа-значимости 0,05. Измерения и сбор данных не пострадали от ограничений COVID-19. Характеристики исследованных территорий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики пяти участков исследования [5]

Table 1. Characteristics of the five study sites [5]

Место исследования	Плотность населения (чел./км ²) ^a	% от Туалетов ^a	Количество животных (крупный рогатый скот) ^a	Уклон от участка к озеру/1000 ^b	Закрытая бухта/ открытая бухта ^c	Интенсивность ведения сельского хозяйства ^a	Общая численность населения ^a	Расстояние от домохозяйств до участка, м ^b	Экономическая активность ^d	Преобладание сельской местности/городов ^c
Karago	72	75	4321	1	полузакрытый	0	5456	507	0	Сельский
Ilagala	92	90	22.653	22	открыто	1	18087	333	1	Городской
Gombe	237	80	7.120	60	открыто	0	5270	533	0	Сельский
Kibirizi	978	80	21.181	1	Полу закрытый	0	12225	347	1	Городской
Ujiji	535	85	19.992	0	открыто	1	9040	240	1	Пригородные

Условные обозначения: a — данные, полученные в результате переписи населения и жилищного фонда Танзании (2012); b — рассчитано на основе прямых измерений; c — значение из Google maps; d — оценено на основе прямых наблюдений.

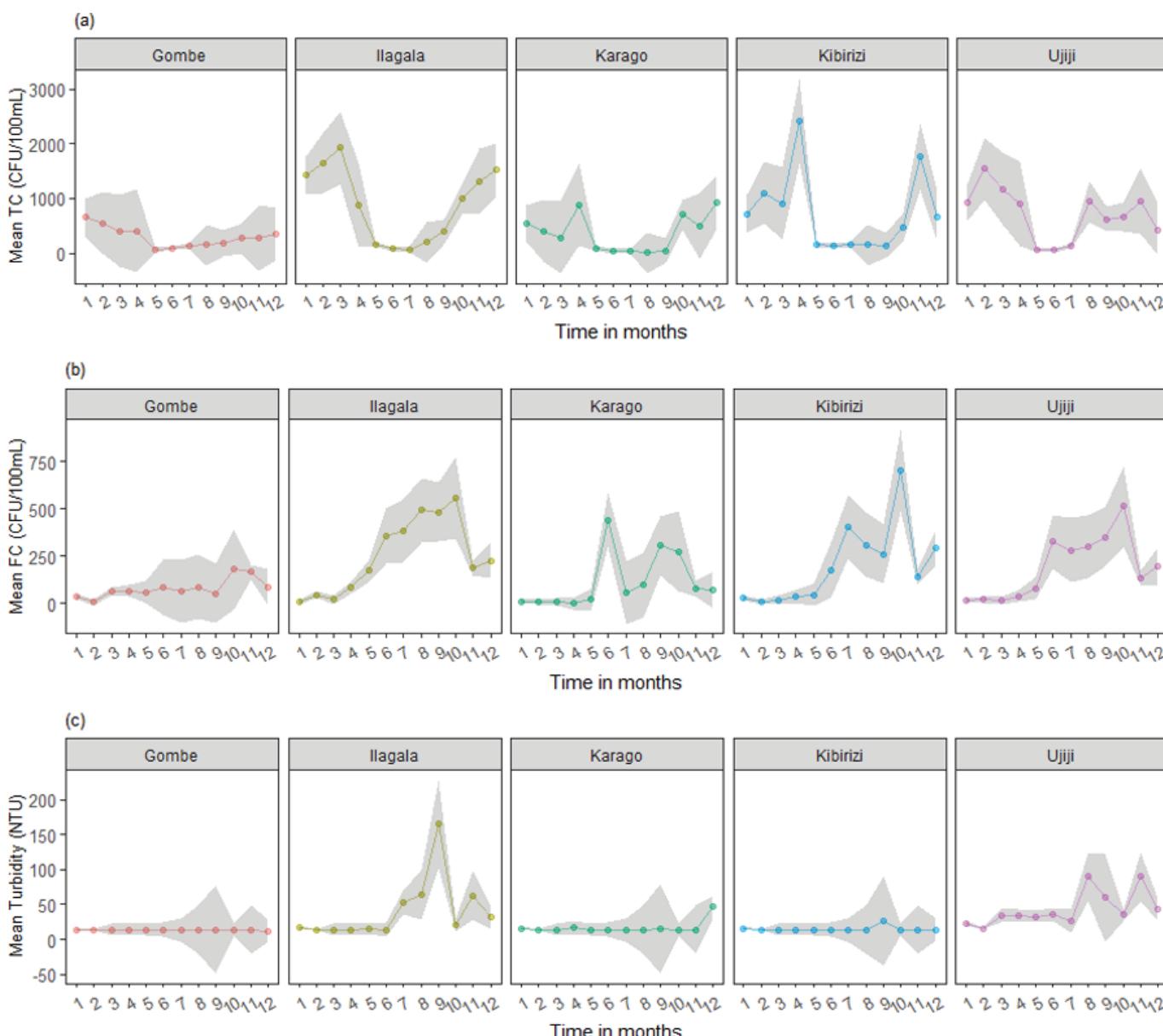


Рисунок 4. Среднемесячные концентрации (по линии) ± стандартное отклонение (заштрихованная область) колиформных бактерий и мутности, определенные гражданскими учеными в каждом исследовательском центре [5]

Figure 4. Monthly mean concentrations (line) ± standard deviation (shaded area) of coliform bacteria and turbidity determined by citizen scientists at each study site [5]

Условные обозначения: (a) — среднее общее количество колиформных бактерий (КОЕ/100 мл) ± стандартное отклонение, (b) — среднее количество фекальных колиформных бактерий (КОЕ/100 мл) ± стандартное отклонение, (c) — средняя мутность (NTU) ± стандартное отклонение.





Результаты

Результаты, представленные в таблице 4, содержат следующую информацию. Общие концентрации колиформных бактерий показали сильную сезонную динамику, с более высокими концентрациями, измеренными в сезон дождей (905 КОЕ/100 мл) по сравнению с сухим сезоном (171 КОЕ/100 мл) ($t = 9,5$, $p < 0,001$). Подобная динамика наблюдалась для фекальных колиформных бактерий, с более низкой t-статистикой, но следуя той же тенденции с более высокими концентрациями в сезон дождей (288 КОЕ/100 мл) по сравнению с сухим сезоном (114 КОЕ/100 мл) ($t = 4,6$, $p < 0,001$).

Участки исследования различались по своей сезонной динамике колиформных бактерий (рис. 1а и 1б). Мутность также показала сезонное поведение, при этом в сезон дождей среднее значение было выше (32 NTU) по сравнению с сухим сезоном (17 NTU) ($t = 3,0$, $p = 0,003$) (рис. 1с) [24]. В целом, как отмечено ранее среднемесечные концентрации колиформных бактерий и мутности показано на рисунке 4.

По результатам анализа пространственной динамики колиформных бактерий и мутности была выявлена четкая разница в средней общей концентрации колиформных бактерий между местами отбора проб (ANOVA, $df = 4$, $F = 5,2$, $p < 0,001$; табл. 1). Количество TC было самым высоким в Илагале и самым низким в Гомбе и Караго, с общим средним значением 568 ± 246 КОЕ/100 мл, учитывая все места отбора проб. Аналогичным образом, была выявлена значительная разница в наличии фекальных колиформных бактериях между местами сбора

проб ($df = 4$, $F = 6,7$, $p < 0,001$; Рис. 2б). В Уджиджи было самое высокое количество FC, а самое низкое в Гомбе и Караго. Общее среднее значение всех мест отбора проб составило 188 ± 88 КОЕ/100 мл. Аналогичным образом, концентрации мутности значительно различались между участками ($df = 4$, $F = 5,4$, $p = 0,003$; рис. 2с), при этом самая высокая мутность была в Илагале, а самая низкая — в Гомбе . Диаграмма, представляющая средние концентрации ± стандартное отклонение колиформных бактерий и мутности представлена на рисунке 5.

Полоски на рисунке 5 представляют стандартное отклонение, а точки — соответственно вариацию вокруг среднего значения. Среднее значение и стандартное отклонение количества колиформных бактерий и мутности приведены в таблице 2.

Учитывая местные условия, уровень экономической активности, расстояние от домохозяйства, интенсивность сельского хозяйства, влияние реки и преобладание города или деревни, можно было определить, какие характеристики участка были связаны с повышенными концентрациями колиформных бактерий или мутности.

В районах с более высокой экономической активностью, меньшим расстоянием от домохозяйства, более высокой интенсивностью сельского хозяйства, преобладанием города и близостью реки были обнаружены значительные различия в средних общих концентрациях колиформных бактерий (Т-критерий, $p < 0,05$, табл. 3).

Определенные различия в средних концентрациях фекальных колиформных бактерий были обнаружены на участках с более высокой

экономической активностью, более высокой интенсивностью сельского хозяйства, близостью реки и преобладанием города. Участки с более высокой экономической активностью, меньшим расстоянием от домохозяйства, более высокой интенсивностью сельского хозяйства и преобладанием города были связаны с более высокой мутностью.

Загрязнение прибрежных вод многих африканских озер фекалиями представляет собой серьезную проблему для местных сообществ и национальных органов здравоохранения, поскольку жители прибрежных сообществ часто используют воду из озер для приготовления пищи и мытья. Концентрации, наблюдаемые в настоящем исследовании, аналогичны тем, которые были измерены в озере Малави, с концентрациями колиформных бактерий 35-400 КОЕ/100 мл в прибрежных поверхностных водах [9], и ниже, чем те, которые были зарегистрированы для мест выгрузки рыбы в озере Виктория ($3,6 \times 10^6$ КОЕ/мл, [10] и канала Накивубо озера Виктория (до $9,2 \times 10^6$ КОЕ/мл, [11]. В поверхностных водах озера Танганьика в Буронди концентрации также повышенны, составляя в среднем 33250 КОЕ/100 мл и 2000 КОЕ/100 мл для общих и фекальных колиформных бактерий соответственно [12].

Краткие выводы и предложения.

1. Ключевым условием решения проблемы утраты природных экологических свойств и устойчивости развития ресурсного потенциала озера Танганьика является привлечение инвестиций для проведения комплексных программ, направленных на осуществление

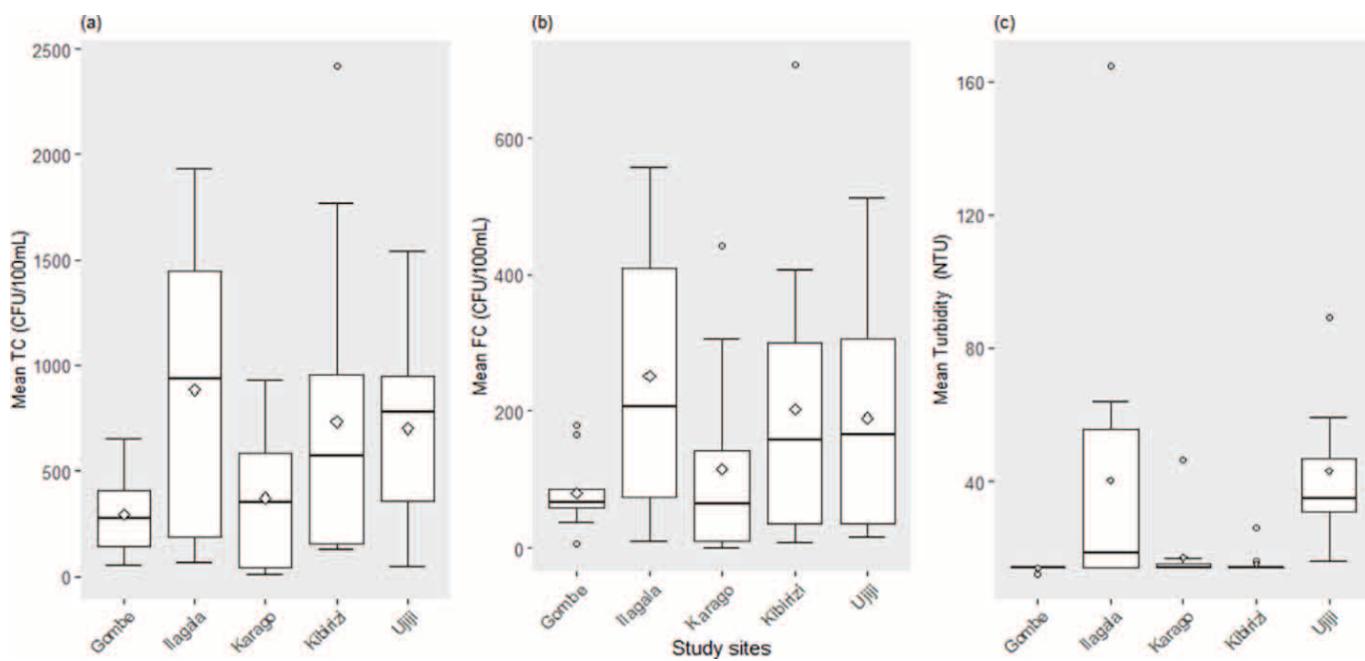


Рисунок 5. Диаграмма, представляющая средние концентрации ± стандартное отклонение колиформных бактерий [6].

Figure 5. Graph representing mean concentrations ± standard deviation of coliform bacteria [6].

Условные обозначения: (а) — среднее общее количество колиформных бактерий (КОЕ/100 мл), (б) — среднее количество фекальных колиформных бактерий (КОЕ/100 мл), (с) — средняя мутность (NTU).

Таблица 2. Среднее значение и стандартное отклонение колиформных бактерий [7]

Table 2. Mean and standard deviation of coliform bacteria and turbidity for each study site ($n = 36$) [7]

Средние концентрации	Гомбе	Илагала	Караго	Кибиризи	Уджиджи
Кишечной палочки в фекалиях (КОЕ/100 мл)	80 ± 70	251 ± 231	115 ± 184	203 ± 274	287 ± 323
Общее количество кишечной палочки (КОЕ/100 мл)	251 ± 231	835 ± 816	364 ± 359	677 ± 907	708 ± 551
Мутность (NTU)	14 ± 0	42 ± 57	17 ± 11	15 ± 6	38 ± 54



Таблица 3. Результаты t-теста для двух пар выборок факторов риска, влияющих на стабильность колиформных аварий и мутности (t-статистическим t-критерием и p-значением на уровне 0,05.) [8]
Table 3. Results of the t-test for two pairs of samples of risk factors affecting the stability of coliform accidents and turbidity (t-statistic t-criterion and p-value at the level of 0.05.) [8]

Землепользование	Общее количество кишечной палочки (КОЕ/100 мл)			Количество кишечной палочки в фекалиях (КОЕ/100 мл)			Помутнение		
	Среднее значение ± S.D	t-статистическое значение	p-значение	Среднее значение ± S.D	t-статистическое значение	p-значение	Среднее значение ± S.D	t-статистическое значение	p-значение
Высокая экономическая активность	772.7 ± 534	4.06	0.0009	214.9 ± 183.5	3.04	0.005	32.8 ± 20.9	2.7	0.01
Низкая экономическая активность	332.9 ± 239			97.5 ± 84.4			97.5 ± 84.4		
Рядом с домом	717 ± 527.3	-1.91	0.04	196.5 ± 181.7	-1.7	0.1	29.1 ± 12.4	-1.5	0.1
Вдали от домашнего хозяйства	792.7 ± 534			-2.89			23.7 ± 14.7		
Высокая интенсивность ведения сельского хозяйства	792.7 ± 534	-2.89	0.007	220.8 ± 178.9	-3.6	0.001	41.7 ± 30.1	3.07	0.01
Низкая интенсивность ведения сельского хозяйства	466 ± 370.9			132.7 ± 112.6			15.3 ± 3		
Река, подвергшаяся воздействию	792.7 ± 534	-2.89	0.007	220.8 ± 178.9	-3.6	0.001	41.7 ± 30.1	-3.07	0.01
Не затронутые реками	466 ± 370.9			132.7 ± 112.6			15.3 ± 3		
Городское	772.6 ± 534	4.06	0.0009	214.9 ± 183.5	3.04	0.01	32.8 ± 20.9	2.7	0.01
Сельское	332.9 ± 239			97.5 ± 84.4			15.4 ± 4.3		

мониторинга экологического состояния озера Танганьика.

2. Важным фактором развития мониторинга экологического состояния озера Танганьика является использование гражданской науки, то есть — привлечение экологических волонтеров и добровольцев-любителей для совместной работы с учеными.

3. Использование доступных и не дорогих инструментов, таких как трубка Секки стоимостью 2 доллара, позволяет местным жителям (волонтерам) собирать высокочастотные данные о состоянии озера, особенно в условиях ограниченного мониторинга профессиональными специалистами, а применение простых оптических инструментов для смартфонов открывает новые возможности для быстрой оценки состояния водоема.

4. Программы гражданской науки также требуют определенного финансирования на обучение и оснащение волонтеров, создание открытых баз данных для сбора и контроля качества данных, а также взаимодействия с учеными, эти расходы будут зависеть от числа участников мониторинга.

5. Результаты проведенных исследований также показывают, что совместные работы волонтеров и ученых могут весьма продуктивно помочь в мониторинге микробиологических условий местных вод. Особенно эффективны гражданские учёные при наблюдении за бентосными сообществами (сообществами организмов, находящихся на дне водоёма или в толще грунта),

концентрацией фитопланктона и загрязнением питательных веществ, используемых обитателями озера.

6. Учитывая, что инфраструктура прибрежных сообществ не изменится в краткосрочной перспективе, мониторинг прибрежных земель и водной среды должен стать ключевым фактором, то есть — движущей силой защиты, восстановления и дальнейшего развития биоэкологической устойчивости озера Танганьика, как самостоятельного экологического объекта африканской Природы.

Список источников, References

1. Peche artisanale Kigoma. [electronic resource] URL: http://burundieco.com/wpcontent/uploads/2019/10/Peche_artisanaleKigoma-600x450.jpg.
2. First genomic study on Lake Tanganyika sprat *Stolothrissa tanganaeae*: a lack of population structure calls for integrated management of this important fisheries target species, *BMC Evol. Biol.*, 19 (6) (2019), pp. 1-15. [electronic resource] DOI: 10.1186/s12862-018-1325-8.
3. L.T.A. Secretariat Regional Charter of the member states of the Lake Tanganyika Authority providing for measures for sustainable management of fisheries in Lake Tanganyika and its basin LTA, Bujumbura, Burundi (2021).
4. Ceccaroni L., Bowser A., Brenton P. Civic education and citizen science: definitions, categories, knowledge representation. Analysis of the role of citizen science in contemporary research: IGI Global; 2017. P. 1-23.
5. Community monitoring of coliform pollution in Lake Tanganyika. [electronic resource] URL: Community monitoring of coliform pollution in Lake Tanganyika PLOS One.
6. Boxplot representing mean concentrations ± standard deviation of coliform and turbidity determined by citizen scientists in 5 study sites (n = 36 per site). [electronic resource] URL: Community monitoring of coliform pollution in Lake Tanganyika/PLOS One.
7. Average and standard deviation of coliform and turbidity for each study site (n = 36). [electronic resource] URL: Community monitoring of coliform pollution in Lake Tanganyika/PLOS One.
8. Results of the t-test for two pairs of samples of risk factors affecting the stability of coliform accidents and turbidity. [electronic resource] URL: <http://journals.plos.org/plosone/article/figure?id=10.1371/journal.pone.0262881.t004>.
9. Byamukama D, Kansiime F, Mach RL, Farnleitner AH. Determination of *Escherichia coli* contamination using chromocult coliform agar showed a high level of discrimination effectiveness for various levels of faecal contamination in tropical waters of Kampala, Uganda. *Applied Environmental Microbiology*. 2000;66(2):864. pmid:10653767.
10. Nyioyitungye L, Giri A, Ndayisenga M. Assessment of Coliforms Bacteria Contamination in Lake Tanganyika as Bioindicators of Recreational and Drinking Water Quality. South Asian Journal of Research in Microbiology. 2020;9:16.
11. Bishop IJ, Warner S, van Noordwijk TC, Nyoni FC, Loiselle SJ. Citizen Science Monitoring for Sustainable Development Goal Indicator 6.3.2 in England and Zambia. Sustainability. 2020;12(24):10271. [electronic resource] URL:<http://www.preprints.org/manuscript/202011.0067/v1>.
12. McKinley DK, Miller-Rushing AJ, Ballard HL, Bonney R, Brown H, Cook-Patton SC, et al. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Nature Conservation Biology*. 2017;20:15-28.

Информация об авторах:

Вершинин Валентин Валентинович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, Scopus ID: 57190580623, Researcher ID: O-1151-2017, v.vershinin.v@mail.ru
Нтиндекуре Арлете Рейн, аспирантка кафедры геоэкологии и природопользования, Ntindekure95@mail.ru

Information about the authors:

Valentin V. Vershinin, doctor of economic sciences, professor head of the department of geoecology and environmental management,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, Scopus ID: 57190580623, Researcher ID: O-1151-2017, v.vershinin.v@mail.ru
Ntindekure Arlette Reine, postgraduate student of the department of geoecology and environmental management, Ntindekure95@mail.ru

v.vershinin.v@mail.ru

