



Калюжин А.С.^{1,2}, Морозова М.А.³, Замараев В.С.⁴, Сеницына О.О.¹

Обнаружение несанкционированного сброса сточных вод в поверхностный водный объект методом инфракрасной термографии

¹ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия;

²ФГАОУ ВО «Государственный университет просвещения», 105005, Москва, Россия;

³ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии», 344000, Ростов-на-Дону, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава России, 400066, Волгоград, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Актуальность работы обусловлена санитарно-эпидемиологическими рисками, связанными с антропогенным загрязнением поверхностных вод, особенно в зонах санитарной охраны (ЗСО) источников водоснабжения. Нарушения температурного режима водоёмов способствуют росту патогенной микрофлоры. Внедрение инфракрасной термографии как дистанционного метода контроля позволяет повысить эффективность социально-гигиенического мониторинга.

Цель исследования. Обоснование и апробирование метода обнаружения несанкционированного сброса сточных вод в водоток с применением тепло-визионного оборудования и последующей микробиологической верификацией.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили термограммы и пробы воды из прибрежной зоны р. Дон в границах ЗСО. Тепло-визионную съёмку проводили с использованием портативных и дистанционных устройств (Doogee V20 Pro (InfiRay), DJI Mavic 3 Thermal, Flins 3 (очки-монокуляр) и Seek Thermal Pro). Бактериологический анализ (обобщённые колиформные бактерии (ОКБ), кишечные палочки, энтерококки) проводили по МУК 4.2.3690–21, транспортировку и хранение проб — по ГОСТ Р 59024–2020. Статистическая обработка выполнена с применением *t*-критерия Стьюдента при $p < 0,05$.

Результаты. Тепловизионное обследование дельты Дона выявило прибрежные участки с температурой воды выше фоновой на $\geq 3^\circ\text{C}$. В этих точках зафиксированы превышения содержания ОКБ, *E. coli* и *E. faecalis* более чем в пять раз. Расчёт неопределённости ($\pm 0,85^\circ\text{C}$; $p = 95\%$) подтвердил достоверность различий. Установлена корреляция между температурными аномалиями и микробиологическими показателями, что указывает на два вероятных источника несанкционированного сброса.

Ограничения. Разработанная методика обеспечивает выявление источника вероятного несанкционированного поступления сточных вод в поверхностный водный объект, связанного с превышением санитарно-микробиологических нормативов.

Заключение. Практическая значимость инфракрасного термографирования подтверждена натурными исследованиями. Метод доказал свою эффективность как вспомогательное средство для экспресс-выявления несанкционированных сбросов и повышения результативности социально-гигиенического мониторинга водоёмов.

Ключевые слова: метод инфракрасной термографии; сточные воды; несанкционированный сброс; поверхностный водный объект; зона санитарной охраны

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Калюжин А.С., Морозова М.А., Замараев В.С., Сеницына О.О. Обнаружение несанкционированного сброса сточных вод в поверхностный водный объект методом инфракрасной термографии. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(10): 1257–1262. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1257-1262>
<https://elibrary.ru/ayuriu>

Для корреспонденции: Калюжин Александр Сергеевич, e-mail: kalyuzhin.as@fncg.ru

Участие авторов: Калюжин А.С. — разработка дизайна исследования, анализ полученных данных, подготовка текста рукописи, редактирование текста рукописи; Морозова М.А. — разработка дизайна исследования, редактирование текста рукописи; Замараев В.С. — редактирование текста рукописи; Сеницына О.О. — анализ полученных данных, подготовка текста рукописи, редактирование текста рукописи. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 17.06.2025 / Поступила после доработки: 22.07.2025 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликовано: 14.11.2025

Alexander S. Kalyuzhin^{1,2}, Marina A. Morozova³, Valery S. Zamaraev⁴, Oksana O. Sinitsyna¹

Detection of unauthorized wastewater discharge into a surface water body using infrared thermography

¹Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation;

²State University of Education, Moscow, 105005, Russian Federation;

³Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation;

⁴Volgograd State Medical University, Volgograd, 400066, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this study is due to sanitary and hygienic risks associated with anthropogenic pollution of surface waters, especially in sanitary protection zones (SPZ) of drinking water sources. Disruption of the thermal regime of water bodies promotes the growth of pathogenic microflora. The use of infrared thermography as a remote monitoring method can significantly improve the efficiency of sanitary and hygienic water monitoring.

Objective. To substantiate and test a method for detecting unauthorized wastewater discharge into surface watercourses using thermal imaging equipment with subsequent bacteriological verification.

Materials and methods. The study used thermograms and water samples from the coastal zone of the Don River within sanitary protection zones (SPZ) boundaries. Thermal imaging was conducted using portable and remote devices, including the Doogee V20 Pro (InfiRay) and DJI Mavic 3 Thermal. Bacteriological analysis (total coliforms, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*) was carried out in accordance with MU 4.2.3690–21, while sample transport and storage followed GOST R 59024–2020. Statistical analysis was performed using Student's *t*-test ($p < 0.05$).

Results. Thermal inspection of the Don River delta revealed coastal areas where water temperature exceeded background levels by ≥ 3 °C. These locations showed more than fivefold exceedances of total coliforms, *E. coli*, and *E. faecalis* concentrations. The calculated expanded uncertainty (± 0.85 °C, $p = 95\%$) confirmed the reliability of these differences. A correlation was found between thermal anomalies and microbiological indicators, indicating two likely sources of unauthorized discharge.

Limitations. The developed approach allows identifying potential sources of unauthorized wastewater discharge into surface waters associated with sanitary and bacteriological exceeds.

Conclusion. The practical value of infrared thermography has been confirmed by field studies. The method proved effective as an auxiliary tool for the rapid detection of unauthorized discharges and enhancing the effectiveness of sanitary and hygienic water monitoring.

Keywords: infrared thermography method; wastewater; unauthorized discharge; surface water body; sanitary protection zone

Compliance with ethical standards. The study did not require approval from a biomedical ethics committee or other documentation.

For citation: Kalyuzhin A.S., Morozova M.A., Zamaraev V.S., Sinitsyna O.O. Detection of unauthorized wastewater discharge into a surface water body using infrared thermography. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(10): 1257–1262. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1257-1262> <https://elibrary.ru/ayuriu> (In Russ.)

For correspondence: Alexander S. Kalyuzhin, e-mail: kalyuzhin.as@fncg.ru

Contributions: Kalyuzhin A.S. – study design, data analysis, manuscript writing, manuscript editing; Morozova M.A. – study design, manuscript editing; Zamaraev V.S. – manuscript editing; Sinitsyna O.O. – data analysis, manuscript writing, manuscript editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: June 17, 2025 / Revised: July 22, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: November 14, 2025

Введение

Влияние деятельности человека на наблюдаемые изменения в климатической системе за последние десятилетия широко признано мировым сообществом и вызывает тревогу. Антропогенное загрязнение поверхностных водных объектов в результате сбросов неочищенных сточных вод, приводящее к увеличению концентрации взвешенных частиц и снижению уровня растворенного кислорода, представляет собой характерную экологическую проблему [1–5]. Мониторинг качества воды имеет как локальное, так и глобальное значение и регламентируется рядом отечественных и междисциплинарных нормативных актов [6–10]. Приоритетной задачей обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения является контроль качества воды в границах зон санитарной охраны (ЗСО) источников водоснабжения населения и в районах рекреационного водопользования [11]. Для повышения достоверности данных о водозаборе мониторинг и отбор проб в пределах ЗСО следует проводить не реже одного раза в месяц в течение всего года с целью своевременного выявления возможных отклонений показателей качества воды от гигиенических нормативов¹. При этом исследования подчёркивают значимость температурного режима поверхностных вод в связи с риском распространения водообусловленных кишечных инфекций при нарушении температурных показателей [12, 13]. Согласно санитарным нормам, в летний период температура воды в результате сброса сточных вод не должна превышать более чем на 3 °C среднемесячную температуру самого жаркого месяца за последние 10 лет².

Анализ с учётом сезонности содержания патогенных и условно патогенных бактерий в сточных водах подтверждает, что летом их концентрация достигает максимума [14]. Исследования термически изменённых водоёмов показали,

что тёплые выпуски создают благоприятные условия для выживания *Aeromonas* spp. и ряда других оппортунистических микроорганизмов [15]. Следовательно, значительные температурные аномалии могут косвенно указывать на повышенный санитарно-микробиологический риск. В ряде публикаций описываются также случаи летальных исходов от первичного амёбного менингоэнцефалита, возникающего вследствие купания в водоёмах с повышенной температурой воды. Установлена прямая зависимость между наличием патогенных свободноживущих амёб родов *Naegleria* и *Acanthamoeba* в воде, которая подверглась термическим изменениям [16, 17].

Таким образом, несанкционированные сбросы сточных вод представляют собой серьёзную экологическую проблему и ставят под угрозу эффективность обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Современные системы дистанционного зондирования – от спутников Sentinel-2 до компактных гиперспектральных камер на БПЛА – доказали свою эффективность при оперативном экологическом мониторинге, в том числе при выявлении тепловых и спектральных аномалий, характерных для выпусков сточных вод [18]. Интеграция таких данных с социально-гигиеническим мониторингом (СГМ) позволит сократить время между фактическим загрязнением и реагированием контрольно-надзорных органов. Для решения данной задачи необходимо внедрение современных технологий мониторинга и контроля, таких как тепловизионная съёмка, которая позволяет оперативно выявлять источники загрязнения и принимать меры по их устранению.

Концепция многоуровневой структуры мониторинга качества воды водосборных бассейнов кратко рассмотрена в 1987 г. [19]. В дальнейшем использовались технологии дистанционного зондирования на основе спутниковых (Landsat, Sentinel, MERIS и MODIS) и воздушных датчиков изображений (беспилотники с RGB-камерами, LiDAR и CASI), широко применяемые для мониторинга водосборов с площади от 10 до 100 м² [20]. За последние 10 лет произошло значительное развитие портативных технологий натурного зондирования, и теперь датчики способны работать в течение длительного времени с анализом данных в режиме реального времени [21–24]. Целесообразность внедрения метода инфракрасной термографии на первом этапе оценки санитарного состояния поверхностных водных объектов в пределах ЗСО обусловлена возможностью оперативного выявления потенциальных источников загрязнения по температурным аномалиям воды [25]. Использование метода

¹ СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности факторов среды обитания человека; 2021.

² Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3 (ред. от 15.11.2024 г.) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (вместе с «СанПиН 2.1.3684–21. Санитарные правила и нормы...») (зарегистрировано в Минюсте 29.01.2021 г. № 62297).

Таблица 1 / Table 1

Балльная оценка тепловизионных устройств**Scory assessment of thermal imaging devices**

Критерий Criterion	Тепловизионное устройство / Thermal Imaging Device			
	Izirtex Flins 3	Seek thermal pro	Doogee V20 Pro с тепловизором Thermal imager InfiRay	DJI Mavic 3 Thermal
Техническая часть / Technical Part	18	12	20	23
Практическая часть / Practical Part	5	7	11	11
Экономическая часть / Economic Part	4	5	6	5
Итого / Total	22	24	37	39

обзорного термографирования возможно как в стандартном ручном режиме, так и при дистанционном зондировании ЗСО камерами с гиперспектральными модулями, имеющими возможность фиксации тепловых аномалий [26].

Цель исследования — обоснование и апробирование метода обнаружения несанкционированного сброса сточных вод в водоток с применением тепловизионного оборудования и последующей микробиологической верификацией. Предлагаемый подход направлен на оптимизацию аппаратного обеспечения социально-гигиенического мониторинга (СГМ) водных объектов.

Материалы и методы

В период с 2021 по 2022 г. проведены сравнительный анализ представленных на рынке моделей тепловизионных устройств по требуемым характеристикам и натурные исследования поверхностного водного объекта (на примере р. Дон), а также разработана методика, охватывающая программно-методическое и научно-практическое обеспечение. Изучены наиболее подходящие модели тепловизионных устройств Izirtex Flins 3, Seek Thermal Pro, Doogee V20 Pro с тепловизором InfiRay, квадрокоптер DJI Mavic 3 Thermal по следующим критериям: чувствительность детектора, качество изображения, температурный диапазон, частота обновления данных, наличие специализированного программного обеспечения (ПО), технические ограничения, воспроизводимость измерений, доступность, временные и финансовые затраты. Для тепловизионной съёмки и отбора проб использованы маломерные речные суда (надувная лодка, катамаран, катер).

Для верификации метода инфракрасной термографии применяли общепринятые стандартные микробиологические методы. Отбор проб воды из р. Дон осуществляли в восьми мониторинговых точках, расположенных на расстоянии 500 м друг от друга, с первичной геолокационной точкой: 47.196111, 39.675802. Транспортировку и хранение проб выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59024–2020³. Определение общего количества колиформных бактерий (ОКБ), *Escherichia coli* и *Enterococcus faecalis* проводили согласно МУК 4.2.3690–21 «Методы санитарно-микробиологических исследований воды поверхностных водных объектов»⁴. Количественный анализ исследуемых бактерий выполняли титрационным методом с использованием неингибиторных и умеренно ингибиторных сред подрашивания в соответствии с МР № 01–19/98–17⁵. Были

использованы дифференциальные и селективные среды: лактозо-пептонная среда, агар селективный для энтерококков (*Enterococcus Selective Agar*), петримидный агар, среда Эндо, XLD-агар (производитель «ГНЦ ПМБ», Оболеньск, Россия); желчно-эскулиновый агар с азидом натрия (HiMediaLab, Индия). Также использовали хромогенные среды, разрешённые к применению: агар для выделения и идентификации *E. coli* и колиформ (Испания, Conda), хромогенный агар «Уриселект» (Bio-Rad Laboratories, США). Идентификацию бактерий проводили с использованием системы масс-спектрометрической бактериальной идентификации Biotyper MALDI-TOF MS (Bruker, США).

Статистическая обработка результатов выполнена методами математической статистики с использованием Microsoft Office Excel 2019 и пакета прикладных программ Statistica 8.0 (StatSoft, США). Для оценки различий между группами применяли *t*-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. При расчёте среднegrupповых температурных показателей значения ниже плюс 2 °С (нижнего предела разграничения) приравнивали к нулю.

Результаты

В основу разработки способа обзорного термографирования как вспомогательного метода к классическим подходам легли работы О.В. Григорьева и Б.В. Шилина [27]. Проведённый анализ показал наличие зависимости между степенью приповерхностного загрязнения вод органическими и минеральными веществами, а также плёнками нефтепродуктов и их проявлением при использовании авиационных гиперспектральных средств в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Несмотря на проведённые исследования, авторам не удалось определить чёткие границы (демаркационную линию) разбавления загрязняющих веществ в водной среде. Погрешность результатов видеоспектральной аэросъёмки превышала 5 °С.

В ходе разработки метода инфракрасного термографирования поверхностных водных объектов проведён сравнительный анализ трёх ручных устройств и одного дистанционного тепловизионного по критериям эффективности (табл. 1). Исследования выполнены при следующих метеорологических условиях: температура воздуха плюс 13 °С, атмосферное давление 755 мм рт. ст., относительная влажность 65%, скорость ветра 3,9 м/с.

Анализ показал высокую эффективность устройств Doogee V20 Pro с тепловизором InfiRay (37 баллов из 39) и квадрокоптера DJI Mavic 3 Thermal (39 из 39) по техническим и практическим критериям (см. табл. 1). По результатам экономической оценки незначительное преимущество отмечено у Doogee V20 Pro. Несмотря на превосходство дистанционного тепловизионного комплекса, предпочтительнее отдалено ручному устройству по причине его доступности и простоты эксплуатации.

Инфракрасное термографирование в предполагаемой зоне несанкционированного сброса сточных вод проводили по следующему алгоритму [28].

³ ГОСТ Р 59024–2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Вода. Общие требования к отбору проб (утв. и введён в действие Приказом Росстандарта от 10.09.2020 г. № 640-ст) (ред. от 02.09.2022 г.).

⁴ МУК 4.2.3690–21 «Методы санитарно-микробиологических исследований воды поверхностных водных объектов» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 30 декабря 2021 г.).

⁵ Методические рекомендации МР № 01–19/98–17 «Усовершенствованный метод обнаружения энтеробактерий и неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов в объектах водной среды» (Ростов-на-Дону, 1996).

Таблица 2 / Table 2

Результаты термографического мониторинга и анализа ОКБ
Thermographic monitoring results and TCC analysis

Показатель Index	Номер контрольной точки / Control Point No.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура прибрежной области, °C Shoreline Temperature, °C	11	16	14	12	11	10	11	10
Температура русла поверхностного водного объекта, °C Channel Temperature, °C	9	10	9.5	9	9	9	9	9
Температурное расхождение (X), °C Temperature Discrepancy (X), °C	2	6	4.5	3	2	1	2	1
Медианные значения по показателю ОКБ, КОЕ/100 мл Median Total Coliforms, CFU/100 mL	4350	22 500	22 500	18 500	13 000	3700	6600	2600
Медианные значения по показателю <i>E. coli</i> , КОЕ/100 мл Median Total <i>E. Coli</i> , CFU/100 mL	230	2400	2300	1900	900	210	425	160
Медианные значения по показателю <i>Enterococcus</i> , КОЕ/100 мл Median Total <i>Enterococci</i> , CFU/100 mL	230	7000	2400	1300	230	23	66,2	23

Подготовительный этап:

- нанесение на карту участков с ранее зафиксированным превышением микробиологических показателей вдоль береговой линии (на расстоянии 10–20 м от берега в сторону русла) с указанием координат (EPSG:4326 – WGS 84);
 - обозначение контрольных и прибрежных точек, присвоение номеров, указание степени загрязнения.
- Полевые работы:
- определение дополнительных точек через каждые 200 м вниз по течению от предполагаемого источника загрязнения;
 - спуск маломерного судна и движение вдоль заданного маршрута со скоростью 2–10 км/ч;
 - измерение температуры воды и воздуха до, во время и после термографирования;
 - отбор проб воды для микробиологического исследования.
- Оценка температурных различий:
- если температурное расхождение между точками в прибрежной зоне и соответствующими точками в русле превышало 3 °C, предполагалось наличие сброса;
- Расчёт температурного расхождения по формуле (1):

$$X = t_{\text{русла поверхностного водного объекта}} - t_{\text{прибрежной части}} \quad (1)$$

где X – расхождение температуры между температурой русла поверхностного водного объекта ($t_{\text{русла поверхностного водного объекта}}$) и температурой прибрежной части ($t_{\text{прибрежной части}}$).

Температурные расхождения визуализировали на карте с цветовой градацией:

- красный: от плюс 4 до плюс 8 °C и выше (сильное расхождение);
- оранжевый: от плюс 3 до плюс 6 °C (среднее расхождение);
- жёлтый: от плюс 2 до плюс 4 °C (минимальное расхождение);
- зелёный: отсутствие расхождений (уровень температуры русла).

В контрольных точках прибрежной зоны, где температурное расхождение превышало 3 °C, производили отбор проб воды для микробиологического анализа. По результатам исследования точки отбора наносили на карту с указанием степени санитарно-микробиологического загрязнения. Информацию о вероятном источнике несанкционированного сброса, в том числе координаты (EPSG:4326 – WGS 84), вносили в базу данных MySQL (версия 8.0.11).

Полученные результаты инфракрасного термографирования поверхностного водного объекта выявили температурные аномалии в прибрежной зоне исследуемого водного объекта – устойчивое превышение температурных показателей более чем на 3 °C по сравнению с фоновыми значе-

ниями русловой части. Сопоставление с результатами санитарно-микробиологических исследований, проведённых в двух рядах тех же контрольных точек, продемонстрировало достоверную корреляцию между участками температурных отклонений и повышенным уровнем микробиологического загрязнения. В частности, содержание ОКБ в аномальных зонах превысило аналогичные значения в точках, расположенных на расстоянии до 2000 м вниз по течению более чем в четыре раза.

Несмотря на прямую корреляцию с результатами санитарно-микробиологического мониторинга, данные инфракрасного термографирования подвергали расчёту расширенной неопределённости^{6,7,8}. Это позволило оценить достоверность результатов измерений с заданной степенью доверия, что особенно важно при сопоставлении с предельно допустимыми значениями. В связи с этим для обеспечения сопоставимости и воспроизводимости результатов был выполнен расчёт метрологических характеристик. В развитие указанного подхода расчёт расширенной неопределённости измерений выполнен по типу В ($u_{\text{в,осн}}$, $u_{\text{в,доп}}$) при условии приборной абсолютной погрешности 0,5 °C. Расширенная неопределённость измерений составила 0,85 °C. Опираясь на полученную оценку u , далее провели анализ температурных полей и их согласование с санитарно-микробиологическими показателями.

С учётом указанной неопределённости анализ полученных данных показал наличие температурной аномалии (превышение более 3 °C) и одновременные отклонения от нормативов санитарно-микробиологических показателей в прибрежной зоне контрольных точек № 2 и № 3. Эти изменения зафиксированы по сравнению с температурным фоном русловой части водоёма и точками, расположенными ниже по течению Дона. Расчёты температурных расхождений (табл. 2) с учётом расширенной неопределённости измерений подтвердили совпадение зон температурных аномалий с участками повышенного микробиологического загрязнения. На основании совокупности данных обосновано выделение двух потенциальных источников несанкционированного сброса сточных вод.

⁶ ISO/IEC Guide 98–3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). Geneva: ISO, 2008.

⁷ РМГ 61–2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Оценка неопределённости измерений. Методика расчёта. Введ. 2010–07–01. М.: Стандартинформ, 2010.

⁸ ГОСТ ИСО 5725–1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Основные положения и определения. Введ. 2003–07–01. М.: Изд-во стандартов, 2003.

Обсуждение

Один из приоритетов в оценке санитарного состояния поверхностных водных объектов — контроль качества воды в соответствии с действующими санитарными правилами и нормативами. Санитарно-микробиологические методы, направленные на определение индикаторных микроорганизмов, признаны «золотым стандартом» в эколого-гигиенической оценке водной среды. Однако классические подходы (отбор проб, транспортировка и лабораторный анализ воды) сопряжены с высокой трудоёмкостью, временными издержками и значительными финансовыми затратами. Перспективным направлением является применение обзорной инфракрасной термографии в качестве вспомогательного инструмента для СГМ. Этот метод позволяет выявлять тепловые аномалии, которые могут указывать на наличие несанкционированных выпусков сточных вод. Например, сточные воды, сбрасываемые в водоёмы, часто имеют отличную от окружающей среды температуру, что позволяет легко обнаруживать их с использованием тепловизоров. Эти характеристики позволяют признать тепловизионную съёмку эффективным инструментом экспресс-мониторинга санитарного состояния поверхностных вод на обширных прибрежных акваториях. Кроме того, метод позволяет динамически отслеживать изменения экологической обстановки, что является важным аспектом для принятия своевременных мер по охране водных ресурсов и обеспечению санитарного благополучия населения. Поэтому использование инфракрасной термографии для контроля за несанкционированными сбросами сточных вод может существенно повысить как эффективность надзора за санитарным состоянием водоёмов, так и способствовать улучшению экологической обстановки в регионах.

На основании результатов исследования сформулированы ключевые положения метода обнаружения несанкционированного сброса сточных вод в речной водоток с использованием тепловизионного оборудования, которые легли в основу технологического решения [29].

1. Метод основан на дистанционном измерении температурных аномалий на поверхности водоёма с использованием тепловизионного оборудования и последующем санитарно-микробиологическом контроле в точках с превышением порогового температурного расхождения.

2. Съёмку температурных полей осуществляют с борта маломерного речного судна, движущегося по течению на расстоянии 10–20 м от береговой линии.

3. Координаты точек отбора проб и соответствующие значения санитарно-микробиологического загряз-

нения привязывают к географической системе координат EPSG:4326 — WGS 84.

4. Применяют тепловизионное оборудование с гиперспектральной камерой и возможностью записи данных на носитель информации.

5. Используемый тепловизор характеризуется следующими техническими параметрами:

- разрешение инфракрасного детектора — не менее 240×180 пикселей;
- диапазон измерения температуры — от минус 20 до плюс 550°C ;
- наличие встроенного Wi-Fi-модуля для передачи изображений и отчётных данных;
- разрешение оптической матрицы — до 640×480 пикселей.

6. Температурное расхождение между русловой и прибрежной частью рассчитывают по формуле (1).

7. Температурное отклонение, превышающее 3°C (с учётом расчётной неопределённости), рассматривается как потенциальный признак несанкционированного сброса сточных вод при подтверждении микробиологическими исследованиями.

Ограничения исследования. Исследование проведено в условиях действующей системы санитарного надзора (Роспотребнадзор), что ограничивает возможности юридического подтверждения источника сброса сточных вод в р. Дон. Разработанный подход позволяет установить источник возможного несанкционированного сброса сточных вод в поверхностный водный объект, ассоциированный с превышением по санитарно-микробиологическому показателю.

Заключение

Практическая значимость применения инфракрасного термографирования для выявления участков водотоков с несанкционированным сбросом сточных вод подтверждена результатами натурных исследований. Экспериментально установлено, что температурное расхождение более 3°C между прибрежной и центральной частями водоёма может служить надёжным индикатором загрязнения. Разработан и апробирован вспомогательный метод обнаружения несанкционированных сбросов с использованием тепловизионного оборудования. Полученные данные подтверждают эффективность инфракрасного термографирования как дополнительного инструмента экспресс-диагностики загрязнения водных объектов и способа повышения эффективности СГМ. Результаты исследований легли в основу изобретения, обладающего признаками новизны и практической применимости в области водного мониторинга.

Литература

(п.п. 2–6, 8–10, 14–18, 20–26 см. References)

1. Синицына О.О., Турбинский В.В., Гильденскиольд О.А., Ряшенцева Т.М., Ширяева М.А., Шпанка А.А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623314. Санитарное состояние поверхностных и подземных источников питьевого и культурно-бытового водопользования в Российской Федерации за 2018–2021 гг; 2022. <https://elibrary.ru/ztxdtq>
7. Синицына О.О., Турбинский В.В. О научном гигиеническом обеспечении Водной стратегии Российской Федерации (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 923–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-923-928> <https://elibrary.ru/wetduy>
11. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Май И.В., Устинова О.Ю., Трусев П.В. и др. *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития*. М.-Пермь; 2024. <https://elibrary.ru/vofelz>
12. Свидовый В.И., Фролов В.В., Луцкевич Т.С. Гигиеническая оценка условий труда и состояние здоровья работниц защищенного грунта. *Гигиена и санитария*. 1991; 80(7): 28–31.
13. Влодавец В.В., Плитман С.И., Свистунова Т.С. Гигиенические аспекты теплового загрязнения водоемов. *Гигиена и санитария*. 1983; 72(8): 52–5.
19. Полянин В.О. Концептуальные подходы к мониторингу диффузного загрязнения водных объектов. *Водные ресурсы*. 2020; 47(5): 603–12. <https://doi.org/10.31857/S0321059620050156> <https://elibrary.ru/pdlhbq>
27. Григорьева О.В., Шилин Б.В. Опыт оценки экологических характеристик акваторий морских портов по данным видеоспектральной аэросъемки. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей*. 2012; 9(1): 156–66. <https://elibrary.ru/nljxhm>
28. Синицына О.О., Трухина Г.М., Калюжин А.С., Латышевская Н.И., Морозова М.А., Ряшенцева Т.М. и др. Схема «Алгоритм обнаружения несанкционированного сброса сточных вод в водный объект при помощи тепловизионной съемки». Патент РФ № 143037; 2024. <https://elibrary.ru/wajhlm>
29. Синицына О.О., Калюжин А.С., Латышевская Н.И., Морозова М.А., Байракова А.Л. Способ обнаружения несанкционированного сброса сточных вод в речной водоток с применением тепловизионного оборудования. Патент РФ № 2831517 C1; 2024. <https://elibrary.ru/ouquqi>

References

1. Sinitsyna O.O., Turbinskii V.V., Gildenskiold O.A., Ryashentseva T.M., Shiryayeva M.A., Shpanka A.A. Certificate of state registration of the database No. 2022623314. Sanitary condition of surface and groundwater sources of drinking and domestic water use in the Russian Federation for 2018–2021; 2022. (in Russian)
2. O'Grady J., Zhang D., O'Connor N., Regan F. A comprehensive review of catchment water quality monitoring using a tiered framework of integrated sensing technologies. *Sci. Total. Environ.* 2021; 765: 142766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142766>
3. Nea C., Jarvie H.P., Wade A.J., Whitehead P.G. Water quality functioning of lowland permeable catchments: inferences from an intensive study of the RIVER KENNet and upper River Thames. *Sci. Total. Environ.* 2002; 282–283: 471–90. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00930-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00930-5)
4. Parker C.A., O'Reilly J.E. Oxygen depletion in Long Island Sound: A historical perspective. *Estuaries.* 1991; 14: 248–64.
5. Carvalho L., Mackay E.B., Cardoso A.C., Baattrup-Pedersen A., Birk S., Blackstock K.L., et al. Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. *Sci. Total. Environ.* 2019; 658: 1228–38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255>
6. European Commission. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive). Brussels; 2000.
7. Sinitsyna O.O., Turbinskii V.V. On scientific hygienic support of the Water Strategy of the Russian Federation (literature review). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 923–8. <https://doi.org/10.4770/0016-9900-2021-100-9-923-928> <https://elibrary.ru/wetduy> (in Russian)
8. Minnes S. Watershed governance or intake governance? Implications of Ontario's Clean Water Act on collaborative watershed governance in rural areas. *Can. Water Resour. J.* 2019; 44(4): 401–22.
9. Fu B., Merritt W., Croke B., Weber T.R., A.J. Jakeman. A review of catchment-scale water quality and erosion models and a synthesis of future prospects. *Environ. Model. Softw.* 2019; 114: 75–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.12.008>
10. Park J., Kim K.T., Lee W.H. Recent advances in information and communications technology (ICT) and sensor technology for monitoring water quality. *Water.* 2020; 12(2): 510. <https://doi.org/10.3390/w12020510>
11. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Popova A.Yu., Mai I.V., Ustinova O.Yu., Trusov P.V., et al. *Health Risk Analysis in the Strategy of State Socio-Economic Development [Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya]*. Moscow – Perm; 2024. <https://elibrary.ru/vofelz> (in Russian)
12. Svidovyi V.I., Frolov V.V., Lutskevich T.S. Hygienic assessment of working conditions and health status of greenhouse workers. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1991; 80(7): 28–31. (in Russian)
13. Vlodavets V.V., Plitman S.I., Svistunova T.S. Hygienic aspects of thermal pollution of water bodies. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1983; 72(8): 52–5. (in Russian)
14. Chen X., Lang X.L., Xu A.L., Song Z.W., Yang J., Guo M.Y. Seasonal variability in the microbial community and pathogens in wastewater final effluents. *Water.* 2019; 11(12): 2586. <https://doi.org/10.3390/w11122586>
15. Fliermans C.B., Gorden R.W., Hazen T.C., Esch G.W. Aeromonas distribution and survival in a thermally altered lake. *Appl. Environ. Microbiol.* 1977; 33(1): 114–22. <https://doi.org/10.1128/aem.33.1.114-122.1977>
16. Stevens A.R., Shulman S.T., Lansen T.A., Cichon M.J., Willaert E. Primary amoebic meningoencephalitis: a report of two cases and antibiotic and immunologic studies. *J. Infect. Dis.* 1981; 143(2): 193–9. <https://doi.org/10.1093/infdis/143.2.193>
17. Muldrow L.L., Tyndall R.L., Fliermans C.B. Application of flow cytometry to studies of pathogenic free-living amoebae. *Appl. Environ. Microbiol.* 1982; 44(6): 1258–69. <https://doi.org/10.1128/aem.44.6.1258-1269.1982>
18. Stuart M.B., McGonigle A.J.S., Willmott J.R. Hyperspectral imaging in environmental monitoring: a review of recent developments and technological advances in compact field deployable systems. *Sensors (Basel)*. 2019; 19(14): 3071. <https://doi.org/10.3390/s19143071>
19. Polyani V.O. Conceptual approaches to monitoring diffuse pollution of water bodies. *Vodnye resursy.* 2020; 47(5): 603–12. <https://doi.org/10.31857/S0321059620050156> <https://elibrary.ru/pdlhbq> (in Russian)
20. Lega M., Ferrara C., Persechino G., Bishop P. Remote sensing in environmental police investigations: aerial platforms and an innovative application of thermography to detect several illegal activities. *Environ. Monit. Assess.* 2014; 186(12): 8291–301. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4003-3>
21. Sun T., Guo Y. Recent advances in wearable and flexible sensors for environmental monitoring. *J. Hazard. Mater.* 2019; 378: 120827. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120827>
22. Benedetti M., Balestrieri E., D'Apuzzo M., Pepe A., Sommella P. Portable sensing platforms for real-time environmental monitoring: a review. *Sens. Actuators B: Chem.* 2021; 331: 129393. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129393>
23. Rossi M., Brunelli D., Benini L. Energy-autonomous portable wireless sensing systems for long-term monitoring. *IEEE Sens. J.* 2020; 20(12): 6676–86. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2972693>
24. Li X., Zhang Y., Wu D., Chen Z., Wang H. Smart field-deployable sensing systems for environmental applications: Design, integration, and perspectives. *Environ. Sci. Technol.* 2022; 56(4): 2430–43. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06843>
25. Venkatesan R., Subramanian K.S., Rajesh S. (2020). Prediction of Water Contamination Detection using Thermal Image Processing. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.* 2020; 9(4): 4278–84. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/16942020>
26. Wong B.P., Kerkez B. Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services. *Environ. Model. Softw.* 2016; 84: 505–17. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.020>
27. Grigoreva O.V., Shilin B.V. Experience in assessment of the environmental indicators of waters ports of hyperspectral images. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Sbornik nauchnykh statei.* 2012; 9(1): 156–66. <https://elibrary.ru/nljxhm> (in Russian)
28. Sinitsyna O.O., Trukhina G.M., Kalyuzhin A.S., Latyshevskaya N.I., Morozova M.A., Ryashentseva T.M., et al. Scheme "Algorithm for detecting unauthorized wastewater discharge into a water body using thermal imaging survey". Patent RF N 143037; 2024. <https://elibrary.ru/wajhlm> (in Russian)
29. Sinitsyna O.O., Kalyuzhin A.S., Latyshevskaya N.I., Morozova M.A., Bairakova A.L. Russian Federation. Method of detecting unauthorized discharge of waste water into river watercourse using thermal imaging equipment. Patent RF N 2831517 C1; 2024. <https://elibrary.ru/ouquei> (in Russian)

Сведения об авторах

Калюжин Александр Сергеевич, мл. науч. сотр. ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: kalyuzhin.as@fncg.ru

Морозова Марина Александровна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФБУН РостовНИИ микробиологии и паразитологии, 344000, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: morozova.q@mail.ru

Замараев Валерий Семёнович, доктор мед. наук, профессор, профессор каф. ФГБОУ ВО «ВГМУ» Минздрава России, 400081, Волгоград, Россия. E-mail: vsmaraev@mail.ru

Синицына Оксана Олеговна, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, зам. директора по научной работе ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: sinitsyna.oo@fncg.ru

Information about the authors

Alexander S. Kalyuzhin, junior researcher, Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7234-6890> E-mail: kalyuzhin.as@fncg.ru

Marina A. Morozova, PhD (Biology), senior researcher, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2017-9717> E-mail: morozova.q@mail.ru

Valery S. Zamaraev, DSc (Medicine), professor, professor, Volgograd State Medical University, 400081, Volgograd, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7442-9940> E-mail: vsmaraev@mail.ru

Oksana O. Sinitsyna, DSc (Medicine), professor, corresponding member of the RAS, deputy director for research, Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690> E-mail: sinitsyna.oo@fncg.ru