УДК 579.68:574:470.23 || EDN: QFHHNZ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ НЕВСКОЙ ГУБЫ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Л.Л. Капустина

Институт озероведения Российской академии наук, ФГБУН Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия.

Эл. почта: larisa.kapustina@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.11.2025; принята к печати 08.12.2025

Проведена оценка экологического состояния донных отложений северной части Невской губы и восточной части Финского залива по результатам сезонных микробиологических исследований в 2018–2019 годах. Определяли общие колиформные бактерии (ОКБ) и *Escherichia coli*. Численность ОКБ колебалась от «отсутствия роста» до «сплошного роста» на фильтрах. Количество *E. coli* варьировало от «отсутствия роста» до 1575 колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм грунта. Экологическое состояние основной массы грунтов было неудовлетворительным. Большинство образцов по численности ОКБ не соответствовали нормативу для донных отложений, а по классификации для почв являлись «умеренно опасными» и «опасными». Незагрязненные донные отложения, в основном находились в восточной части Финского залива. Пятно сильно загрязненных осадков, вытянутое по направлению к защищающей от наводнений дамбе, отмечено в Невской губе в районе водовыпуска Северных очистных сооружений (Невская губа). Донные отложения с интенсивным микробным загрязнением были обнаружены также в северном прибрежье восточной части Финского залива (Курортный район) и вблизи водовыпусков очистных сооружений отдельных населенных пунктов. Неудовлетворительное экологическое состояние прибрежных седиментов, видимо, было вызвано попаданием вод сильно загрязненных малых водотоков (ручьев) в залив на территории от пос. Лисий Нос до г. Зеленогорска. Кроме того источником фекального загрязнения грунтов в области малых глубин могли быть скопления зеленых нитчатых водорослей в волноприбойной зоне. Значимой связи между количеством ОКБ и типом грунта выявлено не было. По-видимому, интенсивность бактериального загрязнения определяется в первую очередь расположением донных отложений относительно источников загрязнения и гидрологическими особенностями акватории.

Ключевые слова: *грунты, общие колиформные бактерии, Escherichia coli, восточная часть Финского залива, Невская губа*

Environmental condition of bottom sediments in the northern part of Neva estuary and eastern part of the Gulf of Finland assessed by microbiological parameters

L.L. Kapustina

Institute of Lake Research, Saint-Petersburg Federal Research Center, the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Email: larisa.kapustina@mail.ru

The environmental condition of the bottom sediments of the northern part of Neva Estuary and the eastern part of the Gulf of Finland was assessed based on the results of seasonal microbiological studies in 2018–2019. Total coliform bacteria (TCB) and *Escherichia coli* were determined. TCB contamination ranged from "no growth" to "confluence growth" on filters. *E. coli* contamination ranged from "no growth" to 1,575 colony-forming units (CFU) per gram of soil. The environmental condition of the most soil patterns was unsatisfactory. Most samples were found to be "moderately hazardous" and "hazardous" according to classification for soils. Unpolluted sediments were mainly located in the eastern part of the Gulf of Finland. A spot of heavily polluted sediments stretched towards the flood-proof dam was found in the Neva Strait near water discharges from Northern Water Treatment Facilities (Neva Estuary). Bottom sediments with intensive microbial contamination have also been found in the northern coast of the eastern part of the Gulf of Finland and near water discharges of sewage treatment plants of different settlements. The unsatisfactory conditions of coastal sediments, apparently, was caused by the entry of water of heavily polluted small watercourses (streams) into the Gulf near the settlements Lisiy Nos and Zelenogorsk. In addition, green filamentous algae in the wave zone could be a source of fecal contamination in shallow areas. No significant relationship between the amount of TCB and the type of soil was found. The intensity of bacteriological contamination seems to be determined primarily by the location of sediment relative to the sources of pollution and the hydrological characteristics of the water area.

Keywords*: bottom sediments, total coliform bacteria, Escherichia coli, eastern Gulf of Finland, Neva estuary*

Статья опубликована на сайте журнала "Биосфера" до корректуры и выпуска в печать. Том 18 за 2026 год. Возможны изменения при подготовке окончательной версии.

Введение

Акватория Невской губы и восточной части Финского залива представляет собой сложную, относительно мелководную экосистему, подверженную значительному антропогенному воздействию. Из-за ресуспензии донных отложений, а также сброса промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод для этих водоемов характерна высокая загруженность органическим веществом. После завершения (2011 год) строительства комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений негативное воздействие на Невскую губу и восточную часть Финского залива усилилось из-за ухудшения водообмена.

Под постоянным антропогенным прессом находится пляжная зона курортного района Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Поэтому практически постоянен запрет на рекреацию в части акватории Невской губы и восточной части Финского залива, примыкающей к пляжам у населенных пунктов Сестрорецк, Лисий Нос, Солнечное, Репино, Комарово и Зеленогорск. Следует заметить, что качество вод в прибрежной зоне Курортного района в значительной степени зависит от качества донных отложений. Донные осадки являются консервативной системой, способной накапливать и хранить информацию о состоянии и изменении геохимических, биологических, климатических условий внешней среды, в том числе вызванных антропогенным воздействием. Исходя из этого, седименты можно рассматривать в качестве важного объекта экологических исследований.

Микробиологические наблюдения являются важной составляющей комплексной оценки экологического состояния водных экосистем. Бактерии принимают активное участие в круговороте веществ и играют основную роль в процессах самоочищения водоемов. За счёт деструкционной деятельности микроорганизмов происходит трансформация большей части энергии, поступающей в водные экосистемы с автохтонным и аллохтонным органическим веществом [5, 29, 18, 3]. Количественные характеристики бактериобентоса (бактерий, населяющих донные отложения) являются одними из основных показателей экологического состояния грунтов. Поэтому оценка качества донных отложений по микробиологическим параметрам представляется очень важной.

Цель настоящей работы: оценить экологическое состояние донных отложений восточной части Финского залива и северной части Невской губы по результатам сезонных микробиологических исследований; определить возможные источники загрязнения данной акватории.

Материалы и методы

Материалами послужили результаты сезонных микробиологических исследований донных отложений в северной части Невской губы и в восточной части Финского залива. Пробы грунтов отбирались с ноября 2018 года по май 2019 года включительно. В ноябре 2018 года для рекогносцировки были отобраны 4 пробы грунтов Финского залива в районе поселка Солнечное. В 2019 году пробы донных отложений отбирались в феврале, апреле и мае. За время исследований пробы (из слоя 0–5 см) были отобраны на 67 станциях (рис. 1). В 2017 году были обследованы (водные массы) 29 малых урбанизированных водотоков, впадающих в залив на побережье курортной зоны Невской губы и восточной части Финского залива. Считаем правомерным оперировать данными по воде и донным отложениям за разные (близкие) годы, так как осадки весьма консервативны по сравнению с водой, и значения микробиологических параметров в них отражают более долговременные воздействия.

Пробы грунтов обрабатывали по стандартной методике [6, 21]. Определяли количество общих колиформных бактерий (ОКБ) и численность кишечной палочки *Escherichia coli* – вида, который входит в состав ОКБ и относится к группе термотолерантных бактерий (ТКБ). Использовался метод мембранных фильтров (СанПиН 2.1.5.980-00, 2001).

ОКБ – интегральный показатель степени фекального загрязнения, обладающий индикаторной надежностью в отношении возбудителей бактериальных кишечных инфекций [4] (СанПин 2.1.4.1074-01, 2001). *E. coli* является индикатором свежего фекального загрязнения в водных экосистемах. Общие колиформные бактерии, в частности, E. *coli*, являются обычными обитателями кишечного тракта теплокровных животных и человека и поступают в водоемы только извне – с терригенным стоком с урбанизированных территорий, коммунально-бытовыми стоками и тому подобным. В незагрязненных водах данная группа бактерий отсутствует.

К сожалению, для грунтов, в отличие от воды, практически отсутствуют четкие нормативы микробного загрязнения, что создает некоторые затруднения. В связи с этим для донных отложений водоемов часто используют методику, применяемую для оценки степени загрязнения почв [1] (СанПиН 2.1.7.1287-03, 2003; Методические рекомендации. 2004-12-24, 2004) (табл. 1).

Статья опубликована на сайте журнала "Биосфера" в виде корректуры. Версткой, пагинацией и макетом до момента выхода в свет занимается редакция. Возможны изменения.

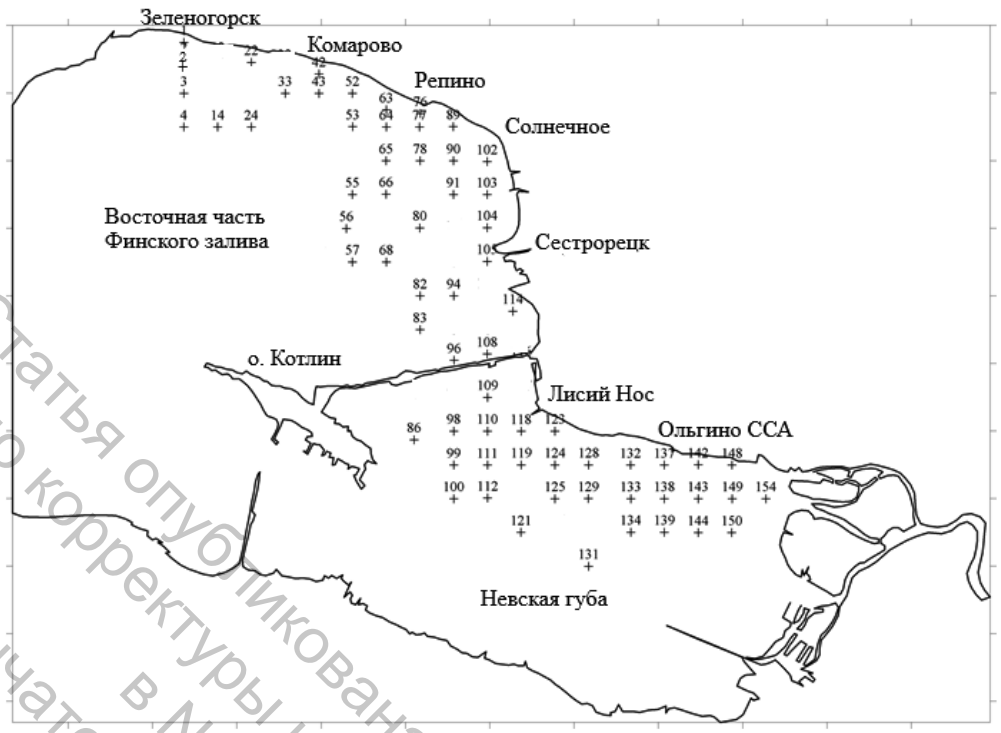

Рис. 1. Схема расположения исследованных станций на акватории восточной части Финского залива и северной части Невской губы.

Табл. 1.

Оценки степени эпидемиологической опасности почвы по СанПиН 2.1.7.1287-03, 2003

Категория загрязненности почв	Численность ОКБ (КОЕ#/1 г почвы)
Чистая	1–10
Умеренно опасна	10–100
Опасна	100–1000
Чрезвычайно опасна	1000 и выше

#КОЕ – колониеобразующая единица, то есть отдельная колония микроорганизмов

Однако система вода-дно более динамична, нежели почва, поскольку микроорганизмы из воды могут переходить в донные отложения и обратно [17, 33]. Поэтому, для оценки микробного загрязнения грунтов, может быть, корректнее использовать норматив, допускающий увеличение численности санитарно-показательных бактерий в донных отложениях в 10 раз по сравнению с водой (СанПиН № 4631-88, 1988). В данном случае сравнивается количество общих колиформных бактерий в 1 мл воды (что для воды соответствует 1 г) и в 1 г донных отложений. Данное соотношение используют в подобных исследованиях [11]. Согласно нормативу для ОКБ, установленному для рекреационного водопользования, в 100 мл воды может содержаться не более 500 КОЕ (СанПиН 2.1.5.980-00, 2001). Соответственно, в 1 г донных отложений допускается содержание до 50 колоний ОКБ. Количество термотолерантных бактерий (в частности, *E. coli*) для донных отложений не нормируется ни в одной из классификаций. Однако, если ориентироваться на классификацию по воде, при недавнем поступлении в водоем хозяйственно-бытовых сточных вод и незавершенности процессов самоочищения соотношение численности ОКБ и *E. coli* в качестве показателя свежего фекального загрязнения, как правило, менее 10 (СанПин 2.1.4.1074-01, 2001; МУК 4.2.1884-04, 2004).

Однако необходимо отметить, что норматив, адаптированный для донных отложений из норматива для воды, так же как классификация для почв, не соответствует нашим целям в полной мере, поскольку предполагает механическое увеличение нормативных значений для воды в 10 раз. И поскольку, как указано выше, собственных четких нормативов для грунтов не существует, мы попытались оценить их эколого-санитарное состояние, используя обе классификации, полагая, что таким образом сможем точнее охарактеризовать степень контаминации осадков кишечной микрофлорой.

Статья опубликована на сайте журнала "Биосфера" до корректуры и верстки как принятая к печати. В окончательной версии возможны изменения. В № 1 тома 18 за 2020 год

Результаты и обсуждение

В период исследований наблюдался широкий диапазон колебаний численности общих колиформных бактерий – от отсутствия роста до сплошного роста на фильтрах. «Отсутствие роста» означает, что на фильтре не вырастает ни одной колонии микроорганизмов. «Сплошной рост» означает, что на фильтре вырастает слишком много бактериальных колоний (> 300 КОЕ), они сливаются между собой, в результате чего подсчитать количество отдельных колоний невозможно. Обычно такой рост ОКБ наблюдается в водах, загрязненных органическим веществом различного происхождения (коммунально-бытовые стоки, сельскохозяйственные стоки, не полностью очищенные сточные воды и так далее). Количество *E. coli* варьировало от «отсутствия роста» до 1575 КОЕ/г грунта (табл. 2) на Ст. 133 (рис. 1) в Невской губе.

Табл. 2.

Численность общих колиформных бактерий (ОКБ) и *E. coli* в грунтах на исследованной акватории в 2018–2019 годах

№№ станций	ОКБ КОЕ / г грунта	*E. coli* КОЕ / г грунта	ОКБ / *E. coli*	Соответствие грунтов нормативам	
				Для почвы	Для донных отложений
1, 14, 86	0–9	0		чистые	соответствуют
3, 4, 24, 33, 42, 43, 53, 55, 56, 57, 63, 64, 77, 80, 83, 89, 96, 98, 103, 105, 112, 132, 139, 142, 143, 149, 150, 154	14–100	2–59	1,0–10,5*	умеренно опасны	соответствуют
65, 66, 68, 76, 78, 82, 91, 94, 102, 104, 108, 109, 110, 111, 114, 121, 129, 134, 137, 138, 144, 148	107–925	14–400	1,0–10,6**	опасны	не соответствуют
22, 52, 90, 118, 119, 123, 124, 125, 128, 131, 132, 133, 142	От 950 до сплошного роста	250–1575	1,2– 2,0***	очень опасны	не соответствуют

* Ст. 43. На остальных станциях соотношение ОКБ/*E. coli* менее 10.
** Ст. 144. На остальных станциях соотношение ОКБ/*E. coli* менее 10.
*** Ст. 123. На остальных станциях соотношение ОКБ/*E. coli* менее 10.

Соответствовали нормативам, установленным для донных отложений по численности ОКБ (<50 КОЕ/г; белый цвет) грунты на 17 станциях. Из них, «чистыми» по обеим классификациям (норматив для почв: <10 КОЕ/г) были грунты только на трех станциях – 1, 14 и 86. Две из них расположены в восточной части Финского залива, на продольном разрезе у города Зеленогорска (Ст. 1, 14), а третья – в Невской губе недалеко от дамбы (Ст. 86). Большинство образцов грунта (50 из 67 исследованных) не соответствовали нормативу для донных отложений и, тем более, для почв. Часть из них (38 образцов), согласно классификации для почв, являлись «умеренно опасными» и «опасными» (< 1000 КОЕ/ г; серый цвет). Наиболее загрязненные грунты (12 образцов) являлись «чрезвычайно опасными» (> 1000 КОЕ/г или сплошной рост (табл. 1; табл. 2; рис. 2). Основная масса «чистых» грунтов находилась на разрезах Зеленогорск-Солнечное и на продольном разрезе от Зеленогорска. По-видимому, систематическое антропогенное воздействие на данные участки акватории отсутствует. На остальной части исследованной акватории отмечались лишь отдельные, немногочисленные точки с «чистыми» донными отложениями.

Пятно очень сильно загрязненных грунтов (соответствовали градации «чрезвычайно опасны»), вытянутое в сторону дамбы, отмечалось вблизи водовыпуска Северной станции аэрации (ССА, северный берег Невской губы, Ольгино) (рис. 2). Здесь, в соответствии с типичными гидрологическими условиями этой части Невской губы, происходит постоянное перемещение речных вод под влиянием вдольбереговых течений [9, 10]. На фоне речных вод наблюдается шлейф воды от водовыпуска очистных сооружений ССА, который в зависимости от скорости и направления ветра может частично менять своё положение. По-видимому, степень разбавления и перемещение потока загрязненных вод, в основном, зависит от направления ветра и локальной гидрологической обстановки.

Статья опубликована на сайте журнала "Биосфера" до корректуры и верстки. Принята к печати в окончательной редакции в апреле 2020 г.

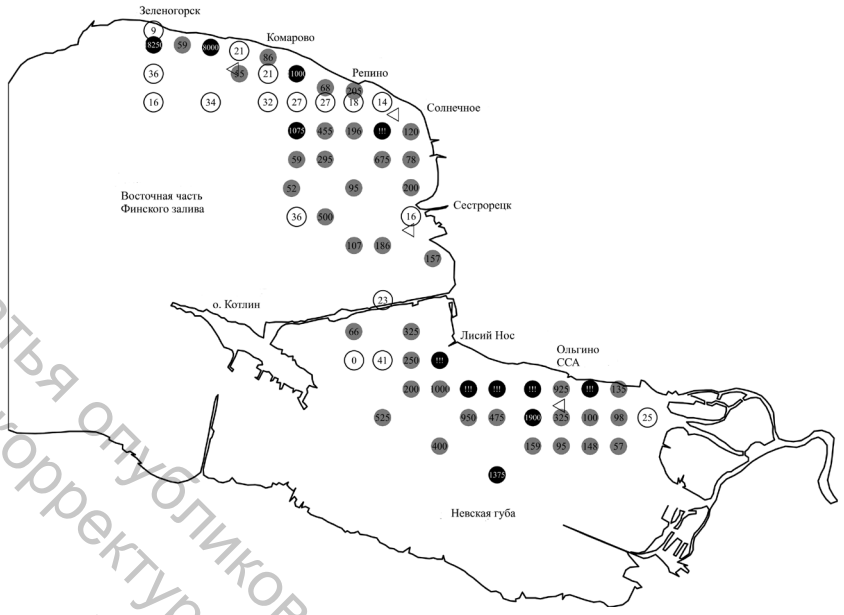

Рис. 2. Численность общих колиформных бактерий (КОЕ/г грунта) в донных отложениях восточной части Финского залива и северной части Невской губы в 2018–2019 годах (до 50 КОЕ ОКБ/г – кружки белого цвета; 50–1000 КОЕ ОКБ/г – серый цвет; более чем 1000 КОЕ ОКБ/г и сплошной рост –черного цвета). Станции, где отмечен сплошной рост бактерий – черный цвет. Белыми треугольниками отмечены водовыпуски ССА (северная станция аэрации), курортных городов и поселков.

Статья опубликована на сайте журнала "Биосфера" до корректуры в вестника. Статья доступна для ознакомления в окончательной версии в N1 тома 10 за 2018 г. Ожидает замечания

Сильно загрязненные грунты были обнаружены, также, в районах водовыпусков очистных сооружений Зеленогорска и Репино, однако это не носило столь масштабного характера, как в Невской губе. В районе этих населенных пунктов происходит активное смешение вод, поступающих со стороны Невской губы, с основной водной массой залива. Течения здесь крайне неустойчивы и зависят, прежде всего, от скоростей и направлений ветров [10]. Поступающие в этот район стоки из водовыпусков очистных сооружений, подвержены динамическим явлениям, в первую очередь течениям и турбулентности. Участки «умеренно опасных» и «опасных» донных отложений находились вблизи северного берега восточной части Финского залива, в основном, между Солнечным и Сестрорецком (рис. 2). С учетом того, что колиформные бактерии могут сохраняться в воде и, особенно, в седиментах длительное время, невозможно сказать, насколько свежим являлось загрязнение.

Анализ полученных данных показал, что в подавляющем большинстве образцов донных отложений количественное соотношение ОКБ/*E. coli* (показатель свежего фекального загрязнения) менее чем 10 (табл. 2). При этом в некоторых из них (Ст. 3, 4, 24, 42, 43, 53, 57, 64, 89, 96, 132 – см. рис. 2) найдено небольшое количество (ниже установленных нормативов по классификации для донных отложений), как ОКБ, так и *E. coli*. В свою очередь, высокое значение вышеуказанного показателя не всегда свидетельствовало о удовлетворительном экологическом состоянии донных отложений. Так например, на Ст. 123 (северный берег Невской губы, рис. 1), данное соотношение было равно 32. Однако в этой точке численность ОКБ превышала норматив в 16 раз. Трудно предположить наличие свежего фекального загрязнения на всей исследованной акватории. В связи с вышеизложенным вызывает сомнение корректность применения количественного соотношения ОКБ/*E. coli* для оценки эколого-санитарного состояния донных отложений, по крайней мере, во всех случаях. Следует с осторожностью делать выводы о наличии или отсутствии свежего фекального загрязнения в грунтах, и говорить о подобном загрязнении, видимо, можно только в местах нахождения грунтов с очень высокой численностью *E. coli*. Не подлежит сомнению, что для более корректной оценки качества седиментов необходима специальная классификация.

Распространение и выживание колиформных бактерий (в частности, *E. coli* как типичного их представителя) во внешней среде (вне организма человека, теплокровных животных и птиц), изучено недостаточно. Подобные исследования проводились, в основном, в рекреационных зонах Великих Американских озер. Известно, что даже в сухих водорослях и в песке пляжей бактерии группы кишечной палочки могут переживать довольно длительное время (многие месяцы) и быть основным

источником микробного загрязнения воды [11, 19, 25, 27,30, 32,]. Донные отложения прибойной зоны в районах пляжей также могут служить источником *E. coli* для воды пляжей, как это наблюдалось в оз. Супериор [25]. При определенных условиях (например, интенсивная волновая активность) в результате взмучивания осадков бактерии могут из донных отложений переходить обратно в воду, существенно повышая в ней количество фекальных микроорганизмов. То есть, грунты могут являться источником вторичного загрязнения воды в прибойной зоне и зоне малых глубин [28, 33, 34]. Для Великих Американских озер установлено, что в донных отложениях, песках прибойной зоны и прибрежных песках количество колиформных бактерий в среднем в 63, 74 и 1087 раз, соответственно, больше, чем в воде озер [24]. Применение различных фенотипических методов показало, что различные штаммы *E. coli* в водных объектах не обязательно могут происходить из источников, связанных с человеческой деятельностью (человек, домашние животные, коммунальные стоки). Так, существенным потенциальным источником кишечной палочки на пляжах могут быть водоплавающие птицы.

Рост и развитие *E. coli* были зафиксированы в различных типах донных отложений. Эти результаты свидетельствуют о том, что штаммы *E. coli*, потенциально происходящие из различных источников, могут выживать и, возможно, даже размножаться в песке и донных отложениях, увеличивая концентрацию фекальных колиформов на пляжах [12, 13, 14, 22, 23]. По аналогии можно предположить, что в грунтах Финского залива и Невской губы колиформные бактерии могут достаточно долго выживать и при интенсивных гидродинамических воздействиях, вызывающих взмучивание осадков, вновь попадать в водную толщу и становиться источником загрязнения для водных масс пляжей.

Определение источников загрязнения воды и донных отложений, особенно в зонах рекреации, очень важно. В 2017 году было проведено микробиологическое исследование воды 29 малых водотоков, впадающих в залив на северном побережье от поселка Лисий Нос до Зеленогорска. Численность ОКБ в воде ручьев в летний период (июль) варьировала от 500 до 16000 КОЕ/100 мл (в среднем 4100 КОЕ/100 мл), а количество *E. coli* колебалось от 90 до 11800 КОЕ/100 мл (в среднем 2200 КОЕ/100 мл). В октябре 2017 года значения обоих показателей были примерно в два раза ниже летних и составляли в среднем для ОКБ и *E. coli* 2300 КОЕ/100 мл и 1000 КОЕ/100 мл соответственно. Тем не менее, как летние, так и осенние значения многократно превышали установленные нормативы: не более чем 500 КОЕ/100 мл для ОКБ и 100 КОЕ/100 мл для *E. coli* (СанПиН 2.1.5.980-00, 2001). Большинство исследованных ручьев протекают в непосредственной близости к жилым кварталам, садоводствам, домам отдыха, точкам общественного питания. По всей видимости, в водотоки могли попадать хозяйственно-бытовые стоки. Объемы и пространственное распространение загрязнённых вод, вливающихся в залив, не постоянны, так как формируются в зависимости от сезона, метеоусловий, течений. Поэтому в непосредственной близости от загрязненных точек иногда обнаруживаются грунты, соответствующие нормативу для донных отложений (но не для почв). Значительное влияние на состояние донных отложений в отдельных частях акватории, примыкающей к пляжам Курортного района Санкт-Петербурга, загрязнённые водные массы могут оказывать и в зимний период. Под ледовым покровом эти потоки защищены от воздействия ветрового перемешивания и в течение длительного времени не меняют своего положения. В северном прибрежье восточной части Финского залива общие колиформные бактерии попадают в воду и грунты также со стоками очистных сооружений населенных пунктов курортного района, водовыпуски которых расположены относительно близко к берегу. В этих случаях загрязнение не распространяется далеко от береговой линии.

Донные отложения являются более предпочтительным субстратом, чем водные массы, для выживания колиформов, так как обеспечивают большее количество питательных веществ, а также, защиту от солнечного света и выедания протозойным планктоном (простейшими организмами) [28, 30, 16, 27]. На исследованной акватории встречались различного рода песчаные и илистые грунты. При анализе полученного материала четкая зависимость между количеством ОКБ и типом грунта ~~не~~ обнаружена не была. И на относительно чистых участках, и в местах интенсивного загрязнения донные отложения были представлены как песками, так и илами. По-видимому, бактериальное загрязнение донных отложений связано не с определенными типами грунтов, а прежде всего определяется их пространственным расположением относительно источников загрязнения. Это вполне логично, так как бактерии группы кишечной палочки не являются естественными обитателями водных экосистем, а всегда поступают туда извне. Наши данные согласуются с результатами аналогичных исследований в Невской губе и восточной части Финского залива [7]. «Уровень бактериального и вирусного загрязнения воды в Невской губе и восточной части Финского залива во многом зависит от многочисленных источников загрязнения, включая канализованные и неканализованные стоки, выполнение работ по

Статья опубликована на сайте журнала "Высшая школа" в версии до корректуры и верстки. Выходные данные: Высшая школа. Научно-методический журнал. – Минск: РИВШ, 2020. – 256 с. : ил. – ISSN 1819-2285.

намыву территорий, дноуглубительных и строительных работ в исследуемых акваториях (порт Бронка)»[1].

Как уже отмечено, результаты различных исследований свидетельствуют о том, что колиформные микроорганизмы, происходящие из различных источников, могут выживать и, возможно, даже размножаться в различных типах донных отложений. При этом, обнаружено, что *E. coli* дольше выживает в воде и донных отложениях при низких температурах (15 и 4°C соответственно), нежели при высоких (37 и 30°C соответственно) [24]. В придонном слое воды в восточной части Финского залива и в северной части Невской губы температуры круглогодично составляют около 4°C [10], поэтому можно ожидать долговременного (порядка нескольких месяцев) выживания колиформов в грунтах. На наш взгляд, более опасными в смысле вторичного загрязнения воды пляжей являются песчаные грунты, так как они, как правило, расположены ближе к берегу, а значит, более загрязнены. Кроме того, гидродинамические процессы в прибойной зоне и зоне достаточно-интенсивны, в связи с чем возникают условия для вторичной контаминации воды колиформными бактериями из донных отложений.

Еще одним источником колиформных бактерий для воды и грунтов могут быть скопления водорослей в прибойной зоне пляжей. В последние десятилетия было показано, что нитчатые зеленые водоросли в водоемах могут быть ассоциированы с колиформными бактериями, а также с сальмонеллой. В результате исследований на Великих американских озерах было обнаружено, что количество *E. coli* в водорослевых матах намного превышает таковое в воде [15, 17, 19, 26, 31]. Дожди и волновая деятельность могут расширять прибойную зону, водоросли быстро разлагаются во влажной среде, что создает дополнительные преференции для выживания и даже размножения колиформов. Как показали наблюдения, проведенные в восточной части Финского залива [2, 8, 20], ОКБ аккумулировались на отмерших водорослях из вод залива и сохраняли способность к росту и размножению даже после высушивания. В июле 2017 году нами было проведено небольшое исследование нитчатых зеленых водорослей, выброшенных на берег пляжей. Обилие водорослевых матов на берегу является обычным для пляжей Невской Губы и восточной части Финского залива. Выяснилось, что на пляжах поселков Лисий Нос (Невская губа) и Солнечное (восточная часть Финского залива) при отсутствии общих колиформных бактерий в воде водоросли были интенсивно загрязнены этими микроорганизмами («сплошной рост» на фильтрах). Наши данные согласуются с результатами предыдущих исследований и свидетельствуют о том, что скопления водорослей на берегу могут быть источником микробного загрязнения вод и донных отложений в прибойной зоне пляжей. По-видимому, содержание большого количества бактерий группы кишечной палочки в водорослевых матах может быть следствием жизнедеятельности морских птиц, в желудочно-кишечном тракте которых, как у всех теплокровных животных, присутствуют бактерии этой группы. Ежегодные массовые скопления водорослей на берегу залива могут быть благоприятным субстратом для аккумуляции колиформных бактерий и патогенных энтеробактерий и приводить к ухудшению санитарной обстановки в рекреационных зонах Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

В связи с широким распространением колиформных бактерий в зонах рекреации возникает проблема снижения их численности. Гарантировано надежных методов уборки пляжей не существует. Результаты ряда исследований [25, 27, 28] показали, что ручная уборка с помощью граблей, практически не влияет на концентрацию колиформов на пляжах и в песках прибойной зоны. Есть свидетельства того, что механическая уборка прямо или косвенно может даже повышать выживаемость и численность *E. coli* [25]. Использование уборочных машин нарушает структуру и стратификацию седиментов прибойной зоны, и фекалии птиц могут проникать, например, в нижележащие, более влажные слои донных отложений, где они защищены от высыхания и потенциального воздействия солнечного света. То есть для колиформов создаются благоприятные условия, в которых они могут выживать, активизироваться и, возможно, даже размножаться. Вместе с тем, результативной мерой снижения численности колиформных бактерий в песках и прибрежных грунтах пляжей может быть систематическая уборка скоплений отмерших водорослей.

Заключение

Экологическое состояние основной массы исследованных грунтов было неудовлетворительным, что, по-видимому, свидетельствовало о долговременных негативных воздействиях на акваторию Невской губы и восточной части Финского залива. Большинство образцов не соответствовали нормативу для донных отложений, а по классификации для почв являлись «умеренно опасными» и «опасными».

[1] https://spcras.ru/news/detail_news.php?ID_NEWS=696978

Незагрязненные грунты были, в основном, обнаружены в восточной части Финского залива на разрезах между г. Зеленогорском и пос. Солнечное, а также, на продольном разрезе от г. Зеленогорск. Систематическое антропогенное воздействие на данные участки акватории, по-видимому, отсутствует. Немногочисленные образцы незагрязненных донных отложений найдены в районе г. Сестрорецка и в Невской губе. В районе водовыпуска Северной станции аэрации отмечено пятно осадков с интенсивным загрязнением (соответствовали градации «чрезвычайно опасны» по классификации для почв), вытянутое по направлению к дамбе, по-видимому, в соответствии с типичными гидрологическими условиями этой части Невской губы. Грунты, соответствующие градациям «опасные» и «чрезвычайно опасные», были обнаружены также на отдельных участках акватории курортной зоны в северном прибрежье восточной части Финского залива. По-видимому, это обусловлено попаданием сюда сильно загрязненных водных масс малых водотоков (ручьев), впадающих в залив. Загрязнение не распространялось далеко, вероятно, из-за небольшого объема стоков.

Объемы водных масс ручьев и их пространственное распространение не постоянны и зависят от сезона года, метеоусловий и гидрологической ситуации. Поэтому в непосредственной близости от загрязненных точек могут обнаруживаться грунты, соответствующие нормативу для донных отложений. В Курортном районе общие колиформные бактерии могут также попадать в воду и осадки со стоками очистных сооружений отдельных населенных пунктов, водовыпуски которых расположены относительно близко к берегу. Источником микробного загрязнения донных отложений вблизи береговой линии могут быть и скопления зеленых нитчатых водорослей в прибойной зоне, являющиеся благоприятным субстратом для аккумуляции колиформных бактерий, что приводит к ухудшению экологической ситуации в рекреационных зонах Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Зависимость между численностью общих колиформных бактерий и типом грунта выявлена не была. И на относительно чистых участках, и в местах интенсивного загрязнения, донные отложения были представлены как различными видами песков, так и илами. По-видимому, интенсивность микробного загрязнения седиментов определяется прежде всего их пространственным расположением относительно источников загрязнения и гидрологическими особенностями акватории. Это вполне понятно, так как бактерии группы кишечной палочки не являются естественными обитателями водных экосистем, а всегда поступают туда извне.

Литература

1. Акатова ЕВ, Арляпов ВА. Оценка экологического состояния донных отложений водоемов Тульской области. Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2015; (4): 220-31.
2. Губелит ЮИ. Структура и функционирование прибрежных альгоценозов восточной части Финского залива. Автореф. дисс…. кан. биол. наук. СПб; 2011.
3. Копылов АИ, Косолапов ДБ. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск: КнигоГранд; 2011.
4. Корш ЛЕ, Артемова ТЗ. Ускоренные методы санитарно-бактериологического исследования воды. М.: Медицина; 1978.
5. Кузнецов СИ. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность. М.: Наука; 1970.
6. Кузнецов СИ, Дубинина ГА. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука; 1989.
7. Малышев ВВ, Змеева ТА, Михайленко РР, Носкова ТВ. Результаты санитарно-микробиологического и санитарно-вирусологического мониторинга акваторий Невской губы и восточной части Финского залива. Современное состояние. В кн.: Материалы II Национального конгресса бактериологов. СПб; 2016. Т. 6, № 3, С. 65.
8. Никулина ВН, Губелит ЮИ. Водоросли литорали, как показатель экологического состояния прибрежья восточной части Финского залива. Биология внутренних вод. 2007;(1):40-5. EDN HYRPZB
9. Нежиховский РА. Река Нева и Невская губа. Л.: Гидрометеоиздат; 1981.
10. Нежиховский РА. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л.: Гидрометеоиздат; 1988.
11. Alm EW, Burke J, Spain A. Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. Water Res 2003;37:3978-82. doi:10.1016/S0043-1354(03)00301-4
12. Alm EW, Burke J, Hagan E. Persistence and potential growth of the fecal indicator dacteria, *Escherichia coli*, in shoreline sand at Lake Huron. J Gt Lakes Res 2006;32:401-5. DOI:10.3394/0380-1330(2006)32[401:PAPGOT]2.0.CO;2
13. Beversdorf LJ, Bornstein-Forst SM and McLellan SL. The potential for beach sand to serve as a reservoir for Escherichia coli and the physical influences on cell die-off. J Appl Microbiol. 2007; 102: 1372-81. doi:10.1111/j.1365-2672.2006.03177.x

Статья опубликована на сайте журнала «Биосфера» в виде принятой к печати рукописи. Окончательная версия будет размещена в номере 1 за 2026 год. Возможны изменения

14. Boehm AB, Griffith J, McGee C, Edge TA, Solo-Gabriele HM, Whitman R, Cao Y, Getrich M, Jay JA, Ferguson D, Goodwin KD, Lee CM, Madison M and Weisberg SB. Fecal indicator bacteria enumeration in beach sand: a comparison study of extraction methods in medium to coarse sands. J Appl Microbiol. 2009; 107: 1740-150. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04440.x
15. Byappanahalli MN, Shively DA, Nevers MB, Sadowsky MJ, Whitman RL. Growth and survival of *Escherichia coli* and enterococci populations in the macro-alga Cladophora (Chlorophyta). FEMS Microbiol Ecol. 2003; 46: 203-11. DOI:10.1016/S0168-6496(03)00214-9
16. Byappanahalli MN, Whitman RL, Shively DA, Ting WT E, Tseng CC, and Nevers MB. Seasonal persistence and population characteristics of *Escherichia coli* and enterococci in deep backshore sand of two freshwater beaches. J Water Health. 2006; 4:313-20. DOI: 10.2166/wh.2006.518
17. Byappanahalli MN, Sawdey R, Ishii S, Shively DA, Ferguson J, Whitman RL, Sadowsky MJ. Seasonal stability of Cladophora-associated *Salmonella* in Lake Michigan watersheds. Water Res. 2009; 43 (3): 806-14. DOI: 10.1016/j.watres.2008.11.012
18. Cole JJ, Findlay S., Pace ML. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview. Marine Ecol Progr.. 1988; 43:1-10. DOI: 10.3354/meps043001
19. Englebert ET. McDermott C, Kleinheinz GT. Impact of the alga Cladophora on the survival of *E. coli*, *Salmonella*, and *Shigella* in laboratory microcosm. J Gt Lakes Res. 2008;34(2):377-82. DOI:10.3394/0380-1330(2008)34[377:IOTACO]2.0.CO;2
20. Gubelit YuI, Vainshtein MB. Growth of Enterobacteria on algal mats in the eastern part of the Gulf of Finland. Inland Water Biol. 2011;4(2):132-36. DOI:10.1134/S1995082911020246
21. Kemp PF, Cole JJ, Sherr BF, Sherr EBб, eds. Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton: Lewis Publishers; 1993. https://doi.org/10.1201/9780203752746
22. Hassard F, Gwyther CL, Farkas K, Andrews A, Jones V, Cox B, Brett H, Jones DL, McDonald JE, Malham SK. Abundance and distribution of enteric bacteria and viruses in coastal and estuarine sediments - a review. Front Microbiol. 2016;7:1-30. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01692
23. Hardina CM, Fujioka RS. Soil: the environmental source of *Escherichia coli* and enterococci in Hawaii's streams. Environ Toxicol Water Qual. 1991;6(2):185-96. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1998.tb05286.x
24. Ishii S, Hansen D, Hicks R, Sadowsky M. Beach sand and sediments are temporal sinks and sources of *Escherichia coli* in Lake Superior. Environ Sci Technol. 2007;41:2203-9. DOI:10.1021/es0623156
25. Kinzelman JL, Whitman RL, Byapponahalli M, Jackson E, Bagley RC. Evaluation of beach grooming techniques on *Esherichia coli* density in foreshore sand at North Beach, Racine. Lake Reservoir Manag. 2003;19(4):349-54. DOI: 10.1080/07438140309353944
26. Kleinheinz GT, Englebert E. Cladophora and the beach: implications for public health. Cladophora research and management in the Great Lakes. Gt Lakes Water Inst Spec Rep. 2005;(1):19-30.
27. Mika KB, Imamura G, Chang C, Conway V, Fernandez G, Griffith JF, Kampalath RA, Lee CM, Lin C-C, Moreno R, Thompson S, Whitman RL,d Jay JA. Pilot- and bench-scale testing of faecal indicator bacteria survival in marine beach sand near point sources. J Appl Microbiol. 2009;107:72-84. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2009.04197.x
28. Obiri-Danso K, Jones K. Intertidal sediments as reservoirs for hippurate negative campylobacters, salmonellae and fecal indicators in three EU recognized bathing waters in North West England. Water Res. 2000;34:519-27. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00146-3
29. Pomeroy LR. The ocean's food web, a changing paradigm. Bioscience. 1974;24:499-504. URL: http://www.jstor.org/stable/1296885
30. Whitman RL, Nevers MB. Foreshore sand as a source of *Escherichia coli* in near-shore water of a Lake Michigan beach. Appl Environ Microbiol. 2003; 69(9):5555-62. DOI: 10.1128/AEM.69.9.5555–5562.2003
31. Whitman RL, Shively DA, Pawlik H, Nevers M, Byappanahalli MN. Occurrence of *Escherichia coli* and enterococci in Cladophora (Chlorophyta) in nearshore water and beach sand of Lake Michigan. Appl Environ Microbiol. 2003;69(7);4714-29. DOI: 10.1128/AEM.69.8.4714–4719.2003
32. Whitman RL, Nevers MB, Byappanahalli MN. Examination of the watershed-wide distribution of *E. coli* along Lake Michigan: an integrated approach. Appl Environ Microbiol. 2006;72(11):7301-10. DOI:10.1128/AEM.00454-06
33. Yamahara KM, Layton BA, Santoro AE, and Boehm AB. Beach sands along the California coast are diffuse sources of fecal bacteria to coastal waters. J Environ Sci Technol. 2007;41:4515-21. DOI: 10.1021/es062822n
34. Zehms TT, McDermott CM, Kleinheinz GT. Microbial concentrations in sand and their effect on beach water in Door County, Wisconsin. J Gt Lakes Res. 2008; 34:524-34.

Статья опубликована в самом журнале "Биосферы" Вологодского ГОУ. Возможны изменения и дополнения при переиздании