

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ТРУБНИК РОМАН ГЕННАДЬЕВИЧ

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЮГА РОССИИ ПО ТРИАДЕ
ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону – 2023

Работа выполнена на кафедре физической географии, экологии и охраны природы
Института наук о Земле федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Южный федеральный университет»

Научный руководитель: **Федоров Юрий Александрович**
доктор географических наук, профессор, Почетный
работник гидрометеослужбы России; Федеральное
государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Южный
федеральный университет» (г. Ростов-на-Дону)
заведующий кафедрой физической географии,
экологии и охраны природы

Официальные оппоненты: **Бузмаков Сергей Алексеевич**
доктор географических наук, профессор;
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный
исследовательский университет» (г. Пермь),
заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны
природы

Судьина Людмила Владимировна
кандидат биологических наук, Федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Ростовский
государственный медицинский университет"
(г. Ростов-на-Дону), ассистент кафедры
пропедевтики внутренних болезней

Защита диссертации состоится **27 декабря 2023 года в 13:00** на заседании
диссертационного совета ЮФУ801.01.11 по географическим наукам на базе Института
наук о Земле Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону,
ул. Зорге, 40, к. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке
им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-
Дону, ул. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета
<https://hub.sfedu.ru/diss/show/1319472/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной
степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса,
телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу:
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 305, ученому секретарю диссертационного
совета ЮФУ801.01.11 Решетняк О.С., а также в формате pdf на e-mail:
osreshetnyak@sfedu.ru .

Ученый секретарь
диссертационного совета



Решетняк Ольга Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Важность оценки экологического состояния донных отложений состоит в том, что «этот самый верхний и тончайший слой литосферы Земли не только депонирует огромное количество поступающих в водные экосистемы загрязняющих веществ, но и трансформирует их с участием биоты в результате диагенеза в компоненты с различным фазовым состоянием, физико-химическими свойствами, формами нахождения и миграции» (Федоров и др., 2017а). Донные отложения являются важнейшей составляющей мелководных водных объектов, в значительной степени определяющей их экологическое состояние. Благодаря процессам сорбции и десорбции, с одной стороны, донные отложения способствуют выведению из водного столба большого количества загрязняющих веществ, с другой – донные отложения могут являться источником вторичного загрязнения водного объекта (Федоров и др., 2010), в числе которых особое место занимают метан и сероводород.

Несмотря на явный прогресс в отношении изучения процессов метаногенеза и сульфатредукции в водных экосистемах (Федоров и др., 2007; Леин, Иванов, 2009; Федоров, Хорошевская, 2009; Гарькуша и др., 2010; Gar'kusha et al., 2017), исследование поведения восстановленных газов в различных по литологическому составу, физико-химическим условиям и уровню антропогенной нагрузки донных отложениях по-прежнему представляется чрезвычайно важной проблемой, решение которой позволит внести серьезный вклад в понимание глобальных циклов углерода и серы в окружающей среде.

Следует подчеркнуть, что в данной работе на основании литературных данных и данных, полученных в ходе проведенного исследования, среди донных отложений мы выделяем лечебные грязи (пелоиды). Это важно, поскольку фоновые содержания восстановленных газов в пелоидах и других донных отложениях могут существенно отличаться, что должно найти отражение в оценке экологического состояния пелоидов (донных отложений, представленных пелоидами).

Таким образом, донные отложения являются важнейшим звеном водной экосистемы, без учета сведений о состоянии которых весьма сложно корректно оценить экологическое состояние водного объекта. Изложенные выше обстоятельства и послужили основанием для проведения оригинальных экспериментальных исследований донных отложений водных объектов Юга России (за исключением грязевых озер Республики Крым).

Объект исследования – донные отложения водных объектов Юга России.

Предмет исследования – физико-химические условия, уровни содержания метана и суммарного сероводорода, численность сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях.

Цель работы – исследовать сочетанное распределение и связь восстановленных газов и сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях водных объектов Юга России, а также обосновать их совместное использование в качестве показателей экологического состояния донных отложений как системообразующего компонента аквальных ландшафтов.

Для достижения поставленной цели предусмотрено решение следующих частных задач:

1. Анализ эффективности применения распространенных аналитических (физико-химических) и биологических подходов к оценке загрязненности донных отложений и их экологического состояния.

2. Определение значений Eh, pH, содержаний метана, суммарного сероводорода и численности сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях водных объектов Юга России.

3. Выявление особенностей литологического состава и физико-химических параметров донных отложений водных объектов Юга России, как среды генерации метана и сероводорода, а также изучение закономерностей распределения уровней содержания восстановленных газов и сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях водных объектов Юга России.

4. Исследование взаимосвязи газового и бактериального состава донных отложений (на примере метана, суммарного сероводорода и сульфитредуцирующих кластридий) и проведение лабораторных экспериментов.

5. Обоснование и разработка методики оценки экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них сероводорода, а также методики оценки экологического состояния донных отложений с использованием данных по содержанию метана, сероводорода и численности сульфитредуцирующих кластридий, а также создание карт-схем оценки экологического состояния донных отложений водных объектов Юга России.

Научная новизна работы:

- Исследованы закономерности сопряженного распределения значений окислительно-восстановительного потенциала, водородного показателя, содержания метана и суммарного сероводорода в толще донных отложений водных объектов Юга России.

- Впервые для водных объектов Юга России проведена количественная оценка численности сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях, а также выявлены закономерности вертикального распределения сульфитредуцирующих кластридий.

- Установлена связь между содержанием метана, суммарного сероводорода и численностью сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях водных объектов Юга России.

- На основании результатов эксперимента *in vitro* доказана способность сульфитредуцирующих кластридий к генерации метана и сероводорода в условиях, приближенных к *in situ*.

- Теоретически обоснована и реализована оригинальная методика оценки экологического состояния донных отложений водных объектов Юга России с использованием трех генетически связанных между собой показателей - метан, суммарный сероводород и сульфитредуцирующие кластридии.

Практическая значимость работы. Результаты работы предполагается использовать при разработке стратегии мониторинга за экологическим состоянием водных объектов, на примере Юга России. Имеется возможность использования данных для оценки качества и бальнеологических свойств сульфидных лечебных грязей, а также их санитарно-микробиологической безопасности. Ряд результатов используется при подготовке и чтении курса лекций по дисциплинам «Общая гидрология» и «Экология водных объектов» в Южном федеральном университете, а также при выполнении проектов: грантов № НШ-5548.2014.5, РФФ № 22–27-00671; РФФИ № 19-05-00770, Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008, № 0852-2020-0029.

Основные защищаемые положения:

1. В природных условиях существует статистически значимая и экспериментально подтвержденная связь между содержанием метана, суммарного сероводорода и численностью сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях, что позволило теоретически обосновать и разработать методику совместного применения триады показателей для оценки экологического состояния донных отложений.

2. Оценка экологического состояния донных отложений водных объектов Юга России, которая изменяется от удовлетворительной до бедственной, с использованием генетически связанных между собой показателей: содержания метана, суммарного сероводорода и титра кластридий.

3. Карта-схемы экологического состояния донных отложений и пелоидов водных объектов Юга России, разработанные с использованием сведений по содержанию восстановленных газов и численности сульфитредуцирующих кластридий.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: тема диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 1.6.21 Геоэкология п. 11: «Оценка экологического

состояния и управление современными ландшафтами. Глобальные и региональные изменения ландшафтно-климатических условий среды обитания в антропоцене».

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследования были представлены на 18 конференциях различного уровня: «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод» (Ростов-на-Дону, 2015); «Актуальные проблемы наук о Земле» (Ростов-на-Дону, 2015, 2016); «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (Ростов-на-Дону, 2015, 2017, 2020); «Ломоносов – 2017» (Москва, 2017); «Комплексные исследования Мирового океана» (Москва, 2017); «Конференция (школа) по морской геологии» (Москва, 2017); «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века» (Казань, 2017); «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения» (Сочи, 2017); International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM (Albena, Bulgaria, 2017); «Понт Эвксинский – 2019» (Севастополь, 2019), «Современные проблемы географии (Астрахань, 2019, 2022); «Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона» (Барнаул, 2021); IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (Сочи, 2022); «Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг» (Ростов-на-Дону, 2023).

Публикации. По теме исследования опубликовано 35 научных работ, из которых 6 статей в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science, 4 статьи в журналах из перечня ЮФУ и ВАК, 2 статьи и 23 тезиса в других изданиях, в том числе 3 тезисов в конференциях, индексируемых в базе данных Scopus.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является теоретико-экспериментальной. Работа базируется на оригинальном фактическом материале, полученном при непосредственном участии автора в результате ряда комплексных экспедиционных исследований (2014–2019 гг.). Автор лично производил отбор проб и их подготовку к дальнейшему анализу, участвовал в определении рН и Eh донных отложений, проводил количественный учет сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях и другие микробиологические эксперименты. В работе также использованы результаты анализов проб донных отложений на содержание метана и суммарного сероводорода (метан – 174, сероводород – 174). Постановка проблемы, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов проведены автором при консультационной помощи научного руководителя.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы. Работа содержит 156 страниц текста, 25 таблиц, 38 рисунков. Список литературы включает 162 источника, из них 32 – на иностранных языках.

Финансовая поддержка исследования. Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов НШ–5548.2014.5. 2014-2016 гг., РФФ № 213.17-03/2017-03, РФФ № 22–27–00671, ВнГр-07/2017-24 и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008, № 0852-2020-0029.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность за помощь в планировании, проведении исследовательской работы и экспериментов научному руководителю, д.г.н. профессору Фёдорову Ю.А., а также доценту, к.г.н. Гарькуше Д.Н. и с.н.с. лаборатории санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора к.б.н. Морозовой М.А. за содействие при проведении отбора проб и их анализа, с.н.с. Гидрохимического института Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Н.С. Тамбиевой за выполнение анализов метана и сероводорода, а также за полезные научные дискуссии. Автор благодарит за поддержку весь коллектив кафедры физической географии, экологии и охраны природы Института наук о Земле Южного федерального университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены научная проблема, цель, задачи и методы их решения; оценены научная новизна и практическая значимость работы; перечислены основные положения, выносимые на защиту и личный вклад автора.

В первой главе «Анализ проблемы оценки экологического состояния донных отложений» *представлен анализ понятийной базы исследования. Произведен обзор литературы по проблеме изучения донных отложений, рассмотрено понятие «экологическое состояние». Проанализированы наиболее распространенные аналитические (физико-химические) и биологические подходы и методы оценки донных отложений с точки зрения эффективности их применения, а также рассмотрены наиболее перспективные интегральные подходы к оценке экологического состояния донных отложений.*

Во второй главе «Объекты, материалы и методы исследования» *приводится краткое географическое описание исследуемых водных объектов, представлены сведения о методике отбора проб донных отложений и их последующего анализа, а также подробно изложена методика постановки эксперимента с сульфитредуцирующими кластридиями (СРК).*

Материалом диссертационного исследования послужили донные отложения, отобранные на 35 станциях, расположенных на различных по происхождению, уровню антропогенной нагрузки, гидрохимическим и

гидрологическим условиям водных объектах Юга России, в числе которых соленые озера, лиманы, малые реки, Таганрогский залив, пруды-аэраторы шахт и т.п. (Рисунок 1).

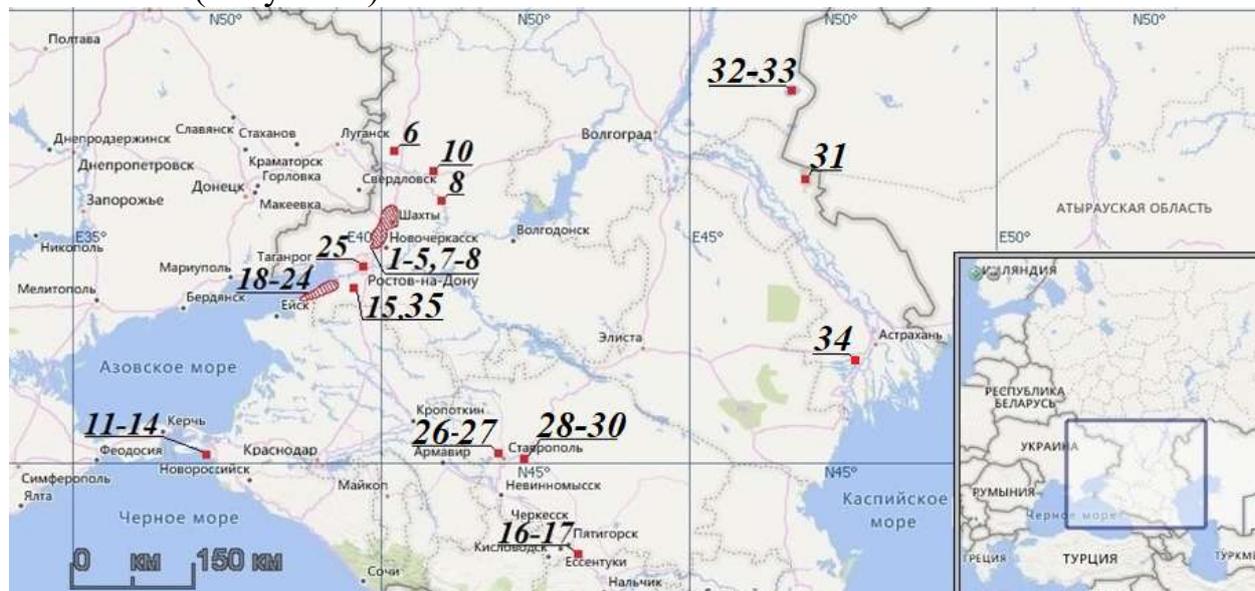


Рисунок 1 – Карта-схема расположения станций отбора проб донных отложений водных объектов Юга России:

1 – р. Грушевка; 2 – пруд-аэратор шахты Южная;
 3 – Артемовское водохранилище; 4 – пруд-аэратор шахты Аютинская; 5 – р. Аюта; 6 – р. Глубокая; 7 – Грушевское водохранилище, г. Шахты; 8 – р. Кадамовка; 9 – ручей, в п. Синегорский; 10 – р. Калитва; 11 – оз. Чембурское, г. Анапа; 12 – Витязевский лиман; 13 – Кизилташский лиман; 14 – Бугазский лиман; 15 – оз. Пелёнкино; 16 – оз. Большой Тамбукан; 17 – оз. Малый Тамбукан; 18–22 – прибрежная зона юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи: 18 – п. Береговой, 19 – с. Круглое, 20 – х. Павло-Очаково, 21 – п. Семибалки, 22 – п. Новомаргаритовка; 23 – р. Мокрая Чубурка; 24 – р. Сухая Чубурка; 25 – р. Темерник; 26 – оз. Соленое (Медвеженское); 27 – оз. Птичьё; 28 – оз. Соленое (Александровский район); 29 – оз. Соленое (Нижепетровское); 30 – оз. Лушниковское (Соленое); 31 – оз. Баскунчак; 32 – оз. Эльтон; 33 – р. Сморогда; 34 – ильмень Белямин; 35 – р. Кагальник.

В общей сложности, руководствуясь РД 52.24.511-2013, было отобрано 174 пробы донных отложений и проведены определения следующих ингредиентов и показателей в количестве: Eh – 169, рН – 169, метан – 174, сероводород – 174, сульфитредуцирующие кластридии – 174.

Определение величин рН и Eh донных отложений производили с помощью лицензированных приборов иономеров фирмы «Экотест-2000» по стандартной методике (Руководство по хим. анализу ..., 1977), определение содержания метана и сероводорода в донных отложениях проводили парофазным газохроматографическим методом согласно (РД 52.24.511-2013; Федоров и др., 2007) и фотометрическим методом с диметилпарафенилендиамином (Рабочий документ..., 2011) соответственно.

Под сероводородом следует понимать сумму молярных концентраций производных сероводорода:

$$\Sigma \text{H}_2\text{S} = [\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}].$$

Определение численности СРК в донных отложениях проводили методом предельных разведений согласно (Руководство по медицинской микробиологии, 2008). Титр кластридий (перфрингенс титр) рассчитывали по методике (Инешина, Гомбоева, 2006) для почв и пищевых продуктов:

Титр клостридий = 1/КОЕ/г

В эксперименте по выявлению способности СРК продуцировать восстановленные газы последние определяли по указанным выше методикам.

В третьей главе «Особенности литологического состава и физико-химическая характеристика донных отложений водных объектов Юга России» выявлены особенности литологического состава донных отложений водных объектов Юга России, исследованы изменения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий в исследованных донных отложениях, а также изучено распределение восстановленных газов в них.

Донные отложения малых рек и искусственных водоемов Ростовской области представлены чаще всего илом от темно-серого цвета до черного, поверхностный горизонт (0–5 см), при этом с глубиной плотность ила возрастает, как и процент включений песчаного и/или галечного материала. Также встречаются неразложившиеся остатки растительности (в среднем до 15%) (Дмитрик и др., 2017). В донных отложениях Таганрогского залива песчаный и обломочный материал чаще всего преобладает над илистыми частицами, что нехарактерно для донных отложений других исследованных водных объектов.

Донные отложения Кизилташских лиманов и соленых озер Чембурское, Пелёнкино, Большой и Малый Тамбукан, Соленое (Медвеженское), Птичье, Соленое (Александровское), Соленое (Нижнепетровское), Соленое (Лушниковское), Белямин, Баскунчак и Эльтон, р. Сморогда обладают однородной тонкодисперсной структурой, в большинстве случаев имеют сильно мажущуюся (мазеподобную) консистенцию и отчетливый запах сероводорода. Отметим, что донные отложения целого ряда из перечисленных водных объектов были ранее классифицированы как пелоиды (Холопов и др., 2003; Садомцева, Дивина, 2009; Мальчуковский и др., 2012; Мязина, 2013; Федоров и др., 2017в; Бондарева, Деркачева, 2017; Андреев, Тамбиева, 2015). Между тем, по нашим данным (Федоров и др., 2018а, 2018б) «рапа озера Соленое (Медвеженское) характеризуется как очень крепкий рассол, озер Соленое (Александровское, Нижнепетровское и Лушниковское) – крепкий рассол». Рапа озера Птичье характеризуется как сильно солоноватая вода.

Все это, наряду со сведениями о применении донных отложений упомянутых выше водных объектов в бальнеологических целях позволяет нам потенциально рассматривать донные отложения перечисленных выше водных объектов в качестве пелоидов.

Водородный показатель, как и окислительно-восстановительный потенциал, относятся к параметрам, определяющим так называемую «сумму жизни» водных экосистем. Эти показатели напрямую или опосредованно могут влиять на формирование экологической обстановки в

них. Значения рН в донных отложениях водных объектов варьировали от 6,10 до 9,98 (среднее значение – 7,4). Следует отметить, что лишь в одной пробе пелоидов озера Белямин (слой 40–45 см) было отмечено повышенное значение рН 9,98, в то время как в остальных пробах донных отложений, в том числе пелоидов, значения рН не превышают 8,45. Таким образом, значения рН варьируются главным образом от слабокислых до слабощелочных и щелочных (классификация вод по рН согласно (Никаноров, 2001)). Значения окислительно-восстановительного потенциала исследованных донных отложений изменялись в широких пределах от -315 до +204 мВ (среднее значение -126,9 мВ), однако, положительные значения Eh зафиксированы по всей колонке донных отложений пруда-аэратора шахты Аютинская (станция № 4) (среднее значение +167,1 мВ) и имеют место несколько единичных случаев по другим станциям. Наиболее отрицательные средние значения Eh -239,7 и -230,3 мВ отмечены в донных отложениях пруда-аэратора шахты Южная (станция № 2) и устья р. Аюта (станция № 5) соответственно.

Что касается вертикального распределения значений рН и Eh в толще донных отложений, следует отметить отсутствие тенденции к увеличению или уменьшению рН и Eh по направлению к более глубоким или наоборот к поверхностным слоям донных отложений.

В исследованных донных отложениях водных объектов Юга России содержание метана варьировало от 0 до 48,6 мкг/г (среднее содержание – 2,3 мкг/г), в то время как содержание сероводорода изменялось от 0 до 5,48 мг/г (среднее содержание – 1,22 мг/г) (Федоров и др., 2017б; Trubnik et al., 2017). Сравнение средних содержаний метана и сероводорода в донных отложениях по группам водных объектов показывает, что самые высокие средние значения приурочены к донным отложениям малых рек и искусственных водоемов Ростовской области (станции № 1–10, 25, 35). Важно отметить, что, в естественных условиях при отсутствии антропогенного воздействия, повышенные значения восстановленных газов в донных отложениях, в общем и целом, не характерны для малых рек и искусственных водоемов Ростовской области (Федоров и др., 2007; Гарькуша, Федоров, 2010).

Анализ массива полученных в ходе исследования данных, указывает на то, что вертикальное распределение метана в толще донных отложений исследованных водных объектов имеет мозаичный характер. Однако, на ряде станций – в донных отложениях устья р. Грушевка (станция № 1), р. Глубокая (станция № 6), р. Калитва (станция № 10), отчетливо прослеживается тенденция уменьшения содержания метана по направлению к более глубоким слоям донных отложений (Рисунок 2а). Менее ярко данная тенденция проявляется в пелоидах Кизилташского лимана (станция № 13), озера Пеленкино (станция № 15) и Таганрогского залива, вблизи п. Береговой (станция № 18).

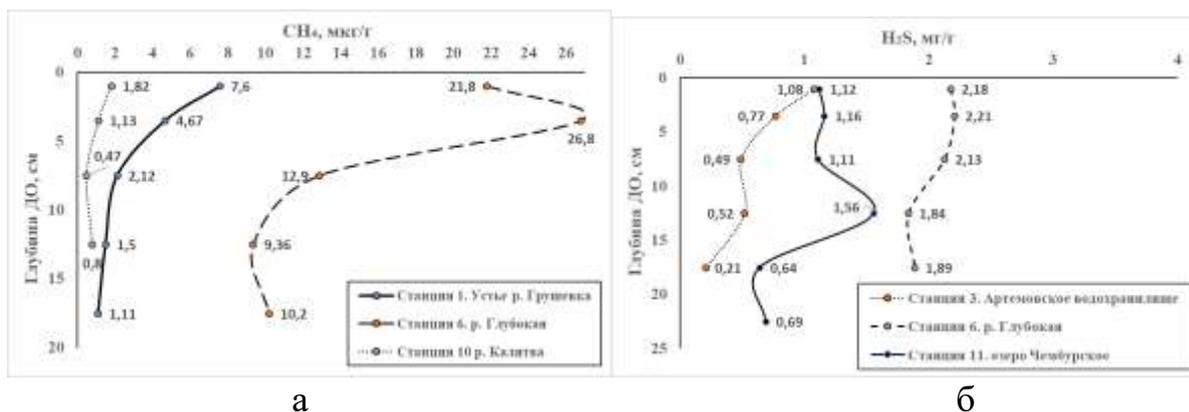


Рисунок 2 – Вертикальное распределение метана (а) и сероводорода (б) в донных отложениях

Вертикальное распределение сероводорода в толще донных отложений исследованных водных объектов имеет еще более выраженный мозаичный характер, чем в случае с метаном. Однако отмечены исключения: в донных отложениях Артемовского водохранилища (станция № 3), р. Грубовая (станция № 6) и пелоидах озера Чембурского (станция № 11) прослеживается тренд уменьшения содержания сероводорода с глубиной (Fedorov et al., 2018a) (Рисунок 2б).

В четвертой главе «Теоретико-экспериментальные исследования связи сульфитредуцирующих клостридий с физико-химическими параметрами и газовым составом донных отложений» представлены результаты определения численности СРК в толще донных отложений, на основании которых выявлены закономерности их распределения, а также исследована связь СРК с Eh, pH, метаном и сероводородом в донных отложениях. Приведены результаты экспериментальных исследований *in vitro* по генерации метана и сероводорода сульфитредуцирующими клостридиями.

Анализ данных показывает, что численность СРК в донных отложениях варьируется как между донными отложениями исследованных водных объектов, так по вертикальному разрезу донных отложений (Трубник, Федоров, 2017; Fedorov et al., 2018a). Распределение СРК по водным объектам выглядит следующим образом: минимальные значения численности СРК приурочены к пелоидам ряда соленых озер (станции № 26, 31–32, 34), в то время как максимальные значения численности СРК отмечены в донных отложениях прибрежной зоны юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи х. Павло-Очаково, п. Семибалки и п. Береговой (станции № 18, 20–21), Чембурского озера (станция № 11) и рек Грубовая, Кадамовка и ручья, п. Синегорский (станции № 6, 8, 9).

Численность СРК варьирует в большом диапазоне значений, что, на наш взгляд, является показателем различного уровня антропогенной нагрузки на водные объекты. Для большей части исследованных донных отложений характерен пилообразный профиль вертикального

распределения СРК. Вместе с тем особенности вертикального распределения СРК в толще донных отложений можно охарактеризовать следующим образом: максимальная численность СРК более чем на 85% станций отбора проб приурочена к слою 0–10 см донных отложений, в то время как минимальные значения численности СРК характерны для более глубоких слоев донных отложений. Это позволяет говорить о тренде уменьшения численности СРК по направлению к более глубоким слоям донных отложений. В ряде соленых озер и других водных объектов данный тренд выражен весьма отчетливо.

Связи между СРК и содержанием восстановленных газов в донных отложениях были впервые установлены в работе (Федоров и др., 2016) на примере донных отложений ряда малых рек и искусственных водоемов Ростовской области. Позднее в пелоидах Таманских лиманов и Чембурского озера (станции № 11–14) была отмечена сильная статистически значимая прямая связь между численностью СРК и содержанием метана ($r = 0,81$) ($p < 0,01$) и сильная значимая прямая нелинейная связь между численностью СРК и содержанием суммарного сероводорода ($r = 0,83$) ($p < 0,01$) (Рисунок 3). Значимой связи между численностью СРК и значениями pH в донных отложениях обнаружено не было ($r = 0,14$) ($p > 0,05$), при этом присутствуют признаки прямой зависимости между численностью СРК и значениями Eh ($r = 0,49$) ($p < 0,05$).

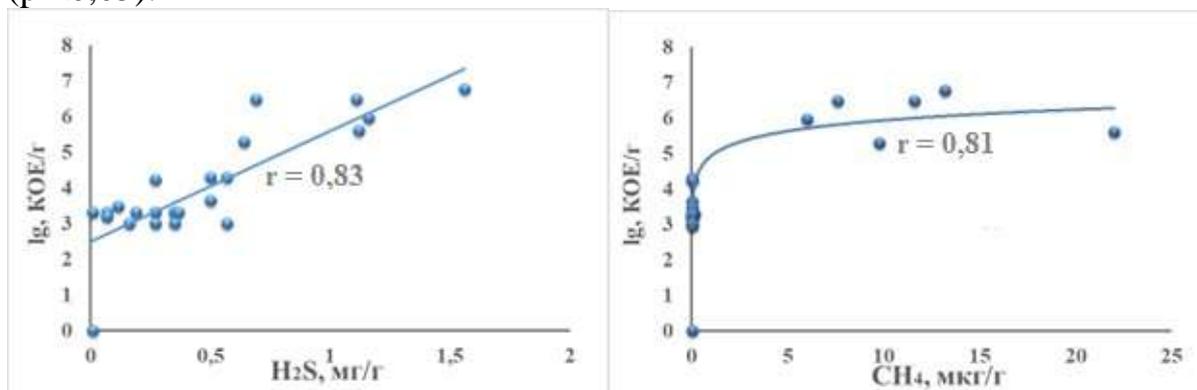


Рисунок 3 – Регрессионные модели зависимости между численностью СРК и содержанием CH_4 и H_2S в пелоидах Кизилташских лиманов и Чембурского озера (станции № 11–14)

В пелоидах соленых озер Юга России (станции № 15–17, 26–32, 34) обнаружена умеренная статистически значимая прямая связь между численностью СРК и содержанием суммарного сероводорода ($r = 0,4$) ($p < 0,01$) и слабая статистически незначимая прямая связь между численностью СРК и содержанием метана ($r = 0,17$) ($p > 0,05$).

Таким образом, ни в одной из групп исследованных водных объектов не выявлена статистически значимая связь между численностью СРК и значениями окислительно-восстановительно потенциала и водородного показателя в донных отложениях. Вместе с тем обнаружены статистически

значимые связи между численностью СРК и содержанием суммарного сероводорода и метана в пелоидах Таманских лиманов, а также между численностью СРК и содержанием суммарного сероводорода в пелоидах соленых озер Юга России. Необходимо отметить, что данная тенденция в какой-то мере характерна и для исследованных донных отложений малых рек и искусственных водоемов Ростовской области. Относительно менее высокие значения коэффициентов корреляции могут быть связаны с затушевыванием тесноты обнаруженных связей и влиянием различных факторов и процессов (литологический состав, количество и доступность органических веществ и т.п.).

Обнаруженные связи между численностью СРК и содержанием сероводорода и метана в донных отложениях хорошо согласуются с гипотезой (Федоров, Морозова, Трубник, 2016) о возможной генерации в донных отложениях, содержащих лабильное органическое вещество, некоторого количества сероводорода различными бактериями, в том числе и СРК, путем восстановления полуокисленных соединений серы ($S_2O_3^{2-}$, SO_3^{2-} , $S_4O_6^{2-}$) и элементарной серы (S^0). Эти обстоятельства, наряду с известным в медицине свойством некоторых видов клостридий продуцировать сероводород (Борисов, 2005; Руководство по медицинской..., 2008) послужили основанием для проведения эксперимента на предмет способности СРК генерировать сероводород. Не исключалась также возможность образования СРК и другого восстановленного газа – метана.

Результаты эксперимента показали, что метан и сероводород были обнаружены во флаконах № 1–6. Метан в малых концентрациях (0,02–0,03 мкл/2мл) был обнаружен во флаконах № 12–13 (Fedorov et al., 2019b). Подчеркнем, что во всех «контрольных» флаконах (№ 7–8, 14–18) значимые содержания метана и сероводорода не обнаружены. Средние расчетные концентрации сероводорода и метана во флаконах, в которых они были обнаружены, составляют 0,17 мкл/2мл и 0,096 мг/2мл соответственно. Максимальное содержание метана (0,685 мкл/2мл) было зафиксировано на 5 сутки культивирования во флаконе № 4 (суспензия 24-часовой чистой культуры СРК на среде Вильсон-Блер с добавлением метанола). Максимальные содержания сероводорода 0,146 и 0,147 мг/2мл на 6 сутки культивирования обнаружены во флаконах № 2 и 5 соответственно (донные отложения, содержащие $\sim 1 \times 10^6$ КОЕ/г СРК на среде Вильсон-Блер с добавлением метанола). На 2, 3 и 6 сутки культивирования во флаконах № 9–11 (чистая культура СРК на среде МПА с 1% глюкозы без добавления метанола) следы метана и сероводорода обнаружены не были, однако, те же ингредиенты во флаконах № 12–13 при добавлении метанола показали продукцию метана в малых содержаниях на 2 и 3 сутки культивирования. Это говорит о том, что метанол, который присутствует в естественных условиях *in situ*, является одним из

необходимых ингредиентов для продукции метана и сероводорода СРК в условиях *in vitro*. Само же наличие метана в пробах газовой смеси флаконов № 12, 13 свидетельствует о способности чистых культур СРК при определенных условиях *in vitro* продуцировать некоторые количества метана.

Полученные нами результаты эксперимента с сульфитредуцирующими клостридиями согласуются с данными других более ранних экспериментов, которые были проведены с различными видами бактерий рода *Clostridium* (Rimbault et al., 1988, Зинурова, 2003). Результаты нашего исследования дают основания полагать, что вегетативные клетки СРК, наряду с метаногенными и сульфатредукторами *sensu stricto*, могут принимать непосредственное участие в образовании метана и сероводорода в донных отложениях водных экосистем, находящихся под антропогенной нагрузкой.

В пятой главе «Оценка экологического состояния донных отложений по химико-биологическим показателям» представлены результаты оценки экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них метана. На основании разработанной и предложенной в диссертационной работе методики произведена оценка экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них (слой 0–5 см) сероводорода. Оценено санитарно-микробиологическое состояние донных отложений по титру клостридий. Теоретически обоснована и предложена методика проведения оценки экологического состояния донных отложений по триаде генетически связанных между собой показателей: СРК, метан и сероводород, а также методика проведения оценки экологического состояния пелоидов по двум показателям: СРК и метан.

На основании полученных нами в ходе экспедиционных исследований данных и подхода, предложенного в работе (Гарькуша и др., 2013), была проведена оценка экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них метана (в слое 0–10 см). Результаты оценки показали, что экологическая обстановка на большинстве участков отбора проб донных отложений характеризуется как благоприятная. Следует отметить, что в условиях дефицита доступного органического вещества конкурентное преимущество над метаногенами в борьбе за обладание питательными субстратами имеют сульфатредукторы (Winfrey and Zeikus, 1977; Кузнецов и др., 1985; Федоров и др. 2007), в то время как в условиях антропогенной нагрузки в донных отложениях чаще всего обнаруживаются повышенные содержания как метана, так и сероводорода. С учетом этого обстоятельства представляется целесообразным оценить экологическую обстановку в донных отложениях с помощью другого тесно связанного с метаном индикатора – сероводорода.

Известно, что повышенные содержания сероводорода в донных отложениях могут привести к заморным явлениям, деградации донных биоценозов и ухудшению качества воды (Сорокин, Закусина, 2008; Fedorov et al., 2019d), однако, в настоящее время методики, позволяющей оценить экологическую обстановку по содержанию сероводорода в донных отложениях как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе не встречено (Fedorov et al., 2018a). В связи с этим мы предлагаем использовать шкалу оценки экологической обстановки по содержанию в донных отложениях сероводорода (Таблица 1), разработанную на основании сопоставления и анализа данных послойного содержания сероводорода в донных отложениях различных водных объектов, а также сведений о летальности содержаний сероводорода для гидробионтов (Васильков и др., 1989; Федоров и др. 2007; Мальчуковский и др., 2012; Гарькуша и др., 2022; РД 52.24.525-2011 и др.).

Целесообразность оценки экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них сероводорода в слое 0–5 см обусловлена тем, что к этому слою часто приурочены максимальные содержания сероводорода (Fedorov et al., 2018a; Гарькуша и др., 2022), что также подтверждают результаты нашего исследования.

Таблица 1 – Шкала оценки экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них сероводорода

Содержание H ₂ S в слое 0–5 см донных отложений, мг/г вл. м.	Категории экологической обстановки
< 0,1	благоприятная
0,1 – 0,99	удовлетворительная
≥ 1	неблагоприятная

Следует подчеркнуть, что предложенная шкала оценки экологической обстановки по содержанию сероводорода в донных отложениях не актуальна для донных отложений, которые мы относим к пелоидам (станции № 11–14, 15–17, 26–34), поскольку с точки зрения бальнеологии повышенные содержания сероводорода являются важным природным терапевтическим компонентом наряду с различными солями, витаминами, ферментами, гормонами и другими веществами (Бахман и др., 1965; Федоров, 2017; Trubnik et al., 2017; Fedorov et al., 2018a). Иловые сульфидные грязи обладают более высокой биологической активностью по сравнению с другими пелоидами именно благодаря наличию в них сероводорода (Старокожко, Школьный, 2016). Вместе с тем в случае с Кизилташскими лиманами (станции № 12–14) следует принимать во внимание их важное рыбохозяйственное значение – лиманы обеспечивают существование разнообразных и высокопродуктивных растительных и животных сообществ. В Кизилташских лиманах осуществляют искусственное воспроизводство кефалевых рыб (Водно-болотные угодья..., 2000). Накопление сероводорода в воде или/и в донных осадках способствует образованию гипоксии в водной толще, поэтому даже

относительно невысокие содержания сероводорода в донных отложениях будут представлять опасность для жизнедеятельности гидробионтов и могут привести к заморным явлениям (Федоров и др., 2007). По этой причине оценку экологической обстановки в пелоидах Кизилташских лиманов по содержанию в них сероводорода необходимо провести, поскольку она, в некоторой степени, отражает потенциальную опасность для гидробионтов от повышенных содержаний сероводорода в донных отложениях в независимости от того, имеет ли газ антропогенное или природное происхождение.

Метан и сероводород являются взаимодополняющими показателями, совместное применение которых в перспективе позволит получить более полную и объективную информацию об экологической обстановке в донных отложениях. Однако, следует учитывать, что изменение газового режима донных отложений, в том числе вариабельность содержаний метана и сероводорода, может быть вызвана факторами, напрямую не связанными с антропогенной нагрузкой (Гарькуша, Федоров, 2021). Таким образом, для комплексной оценки состояния донных отложений необходим дополнительный универсальный показатель, на индикаторные свойства которого бы не оказывали существенного влияния факторы среды, не связанные с процессом загрязнения. Одним из таких показателей, на наш взгляд, являются СРК.

Результаты исследования показали, что практически все исследованные пелоиды не соответствуют нормативным критериям (МУК 143-9/316-17) по численности СРК. Исключение составляют только пелоиды озера Соленое (Медвеженское) (станция № 26). Полученные данные представляют интерес в связи с активным «диким» использованием пелоидов в грязелечении, которое практикует местное население и туристы непосредственно на подавляющем большинстве исследованных озер.

На основании интерпретации Методических указаний по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (1976) применительно к донным отложениям были предложены следующие критерии оценки санитарно-микробиологического состояния донных отложений по титру клостридий: если титр клостридий составляет 0,01 и выше – донные отложения относили к категории «чистые», при титре клостридий 0,009–0,0001 – «загрязненные», если титр клостридий 0,00009 и ниже – «сильно загрязненные» донные отложения. Нами было установлено, что численность СРК (как и титра клостридий соответственно) изменяется с глубиной. Однако, на более чем 85% станций отбора проб максимальная численность СРК приурочена к слою 0–10 см донных отложений, поэтому оценка санитарно-микробиологического состояния донных отложений проводилась по данным о численности СРК в слое 0–10 см.

Таким образом, основываясь на доказанной нами связи между численностью СРК, как санитарно-показательными микроорганизмами, и содержанием метана и сероводорода, нами предлагается оригинальная методика оценки экологического состояния донных отложений по ряду генетически связанных между собой биотических и абиотических показателей. Под биотическим мы понимаем показатель, который качественно или количественно характеризует реакцию представителей живых организмов (в нашем случае бактерий) на негативное воздействие, вызванное антропогенным влиянием. Под абиотическим – физико-химические параметры донных отложений, которые могли бы также отражать изменения в среде, вызванные антропогенным влиянием.

На этапе разработки методики оценки экологического состояния донных отложений мы учли, что на содержание метана и сероводорода в донных отложениях в большей степени могут оказывать влияние факторы, не связанные с загрязнением, чем на численность СРК. Всем ранее использованным категориям оценки экологической обстановки в донных отложениях и оценки санитарно-микробиологического состояния донных отложений были присвоены баллы. Показателям метан и сероводород: 0 – благоприятная, 3 – удовлетворительная, 5 – неблагоприятная. Показателю титр клостридий: 0 – условно чистые; 5 – загрязненные; 7 – сильно загрязненные. Основываясь на рекомендациях (Коробов, Тутыгин, 2010) была предложена градация категорий экологического состояния донных отложений исходя из суммы баллов по трем показателям (Таблица 2).

Таблица 2 – Шкала оценки экологического состояния донных отложений водных объектов Юга России

Сумма баллов по трем показателям (метан, сероводород, СРК)	Экологическое состояние донных отложений
0 – 3	благополучное
4 – 7	удовлетворительное
8 – 11	неблагополучное
12 – 14	критическое
15 – 17	бедственное

Разбиение шкалы оценки экологического состояния донных отложений на интервалы было основано на следующих принципах:

- если донные отложения по содержанию метана и сероводорода относятся к категории «благоприятная», а по титру клостридий – к «загрязненным», то экологическое состояние таких донных отложений не может быть оценено как «благополучное»;
- экологическое состояние донных отложений с максимальными баллами по титру клостридий и по одному из двух других показателей должно быть оценено как «критическое»;

- экологическое состояние донных отложений с максимальными значениями баллов по всем трем показателям должно быть оценено как «бедственное».

Проведенная оценка показала, что экологическое состояние донных отложений ни на одной из станций отбора проб нельзя охарактеризовать как **благополучное**. Вместе с тем экологическое состояние донных отложений пруда-аэратора шахты Аютинская (станция № 4), ручья в п. Синегорский (станция № 9), прибрежной зоны юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи х. Павло-Очаково (станция № 20), р. Мокрая Чубурка (станция № 23) оценивается как **удовлетворительное** (Рисунок 4, 5). Экологическое состояние донных отложений пруда-отстойника шахты Южная (станция № 2), р. Аюта (станция № 5), донных отложений прибрежной зоны юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи с. Круглое и п. Новомаргаритовка (станции № 19, 22), р. Сухая Чубурка (станции № 24), а также пелоидов Кизилташских лиманов (станции № 12–14) классифицируется как **неблагополучное**.

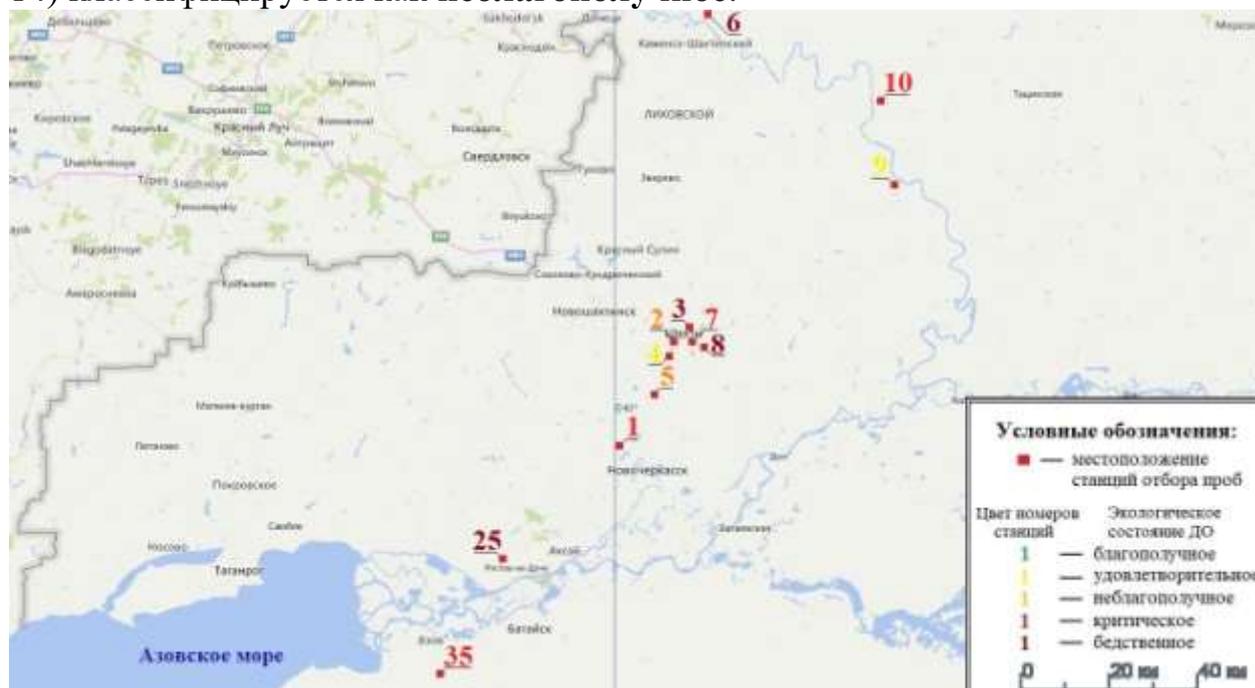


Рисунок 4 – Карта-схема оценки экологического состояния донных отложений водных объектов Ростовской области: 1 – р. Грушевка; 2 – пруд-отстойник шахты Южная; 3 – Артемовское водохранилище; 4 – пруд-аэратор шахты Аютинская; 5 – р. Аюта; 6 – р. Глубокая; 7 – Грушевское водохранилище, г. Шахты; 8 – р. Кадамовка; 9 – ручей, в п. Синегорский; 10 – р. Калитва; 25 – р. Темерник, г. Ростов-на-Дону; 35 – р. Кагальник.

Критическое экологическое состояние донных отложений отмечено в устье р. Грушевка (станция № 1), водохранилища на р. Грушевка (станция № 7), р. Калитва (станция № 10), прибрежной зоны юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи п. Береговой (станции № 18) и р. Кагальник (станция № 35). Экологическое состояние донных отложений Артемовского водохранилища, р. Глубокая, р. Кадамовка, р. Темерник и

прибрежной зоны юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи п. Семибалки (станции № 3, 6, 8, 21, 25) оценивается как **бедственное**.

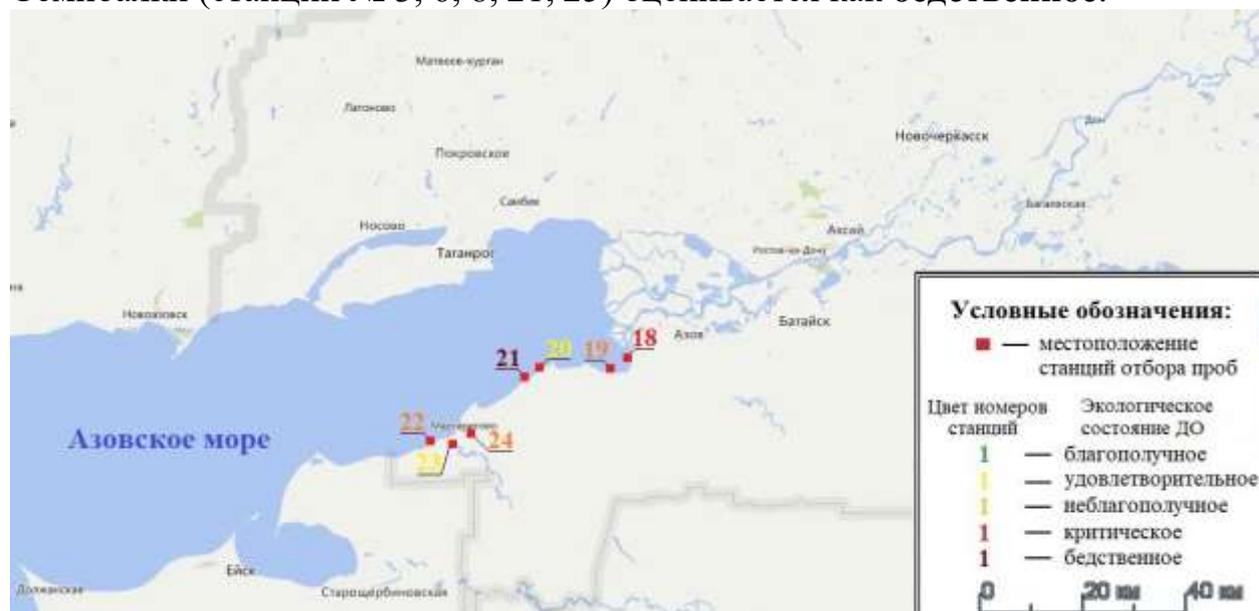


Рисунок 5 – Карта-схема оценки экологического состояния донных отложений малых рек и юго-восточной части Таганрогского залива

Азовского моря: 18–22 – прибрежная зона юго-восточной части Таганрогского залива, вблизи: 18 – п. Береговой, 19 – с. Круглое, 20 – х. Павло-Очаково, 21 – п. Семибалки, 22 – п. Новомаргаритовка; 23 – р. Мокрая Чубурка; 24 – р. Сухая Чубурка.

Что же касается оценки экологического состояния пелоидов, то по предложенной методике производить её не рекомендуется, поскольку, во-первых, повышенные содержания сероводорода в пелоидах чаще всего обусловлены не загрязнением, а специфическими особенностями их газового режима, а, во-вторых, в минерализованных сульфидных озерах практически не обитают гидробионты, за исключением нескольких видов, среди которых можно выделить рачков *Artemia salina*, поэтому рассматривать повышенные содержания сероводорода в пелоидах в качестве агента возникновения заморных явлений не имеет смысла.

Таким образом, по аналогии со шкалой оценки экологического состояния донных отложений, мы предлагаем оценивать экологическое состояние пелоидов (Таблица 3) по двум показателям: содержание метана и титр клостридий. Разбиение шкалы оценки экологического состояния пелоидов на интервалы было произведено на основе принципов, схожих с теми, что и в случае со шкалой, представленной в Таблице 2:

- если пелоиды по содержанию метана относятся к категории «благоприятная», а по титру клостридий – «загрязненные», то экологическое состояние таких пелоидов не может быть оценено как «благополучное»;

- если пелоиды по содержанию метана относятся к категории «удовлетворительная», а по титру клостридий относятся к категории

«чистые», то экологическое состояние таких пелоидов должно быть оценено как «удовлетворительное»;

- если пелоиды по содержанию метана относятся к категории «удовлетворительная», а по титру клостридий относятся к категории «загрязненные», то экологическое состояние таких пелоидов должно быть оценено как «неблагополучное»;

- экологическое состояние пелоидов с максимальными баллами по титру клостридий/содержанию метана и средними баллами по титру клостридий/содержанию метана должно быть оценено как «критическое»;

- экологическое состояние донных отложений с максимальными значениями баллов по двум показателям должно быть оценено как «бедственное».

Таблица 3 – Шкала оценки экологического состояния пелоидов водных объектов Юга России

Итоговая сумма баллов по двум показателям (метан, СРК)	Экологическое состояние пелоидов
0–2	Благополучное
3–5	Удовлетворительное
6–8	Неблагополучное
9–11	Критическое
12	Бедственное

Согласно результатам оценки, экологическое состояние пелоидов озера Баскунчак (станция № 31) характеризуется как **благополучное**. Экологическое состояние пелоидов озера Большой Тамбукан (станция № 16), озера Соленое (Медвеженское) (станция № 26), озера Птичье (станция № 27), озера Эльтон (станция № 32), р.Сморогда (станция № 33) и ильмена Белямин (станция № 34) оценивается как **удовлетворительное**.

Неблагополучное экологическое состояние сложилось в пелоидах озера Пелёнкино (станция № 15) и озера Малый Тамбукан (станция № 17). Экологическое состояние пелоидов озера Соленое (Александровское) (станция № 28) и озера Соленое (Лушниковское) (станция № 30) характеризуется как **критическое**. Экологическое состояние пелоидов озера Чембурское (станция № 11) и озера Соленое (Нижнепетровское) (станция № 17) оценивается как **бедственное** (Рисунок 6).

Проведенная оценка экологического состояния донных отложений и пелоидов показывает, что большинство донных отложений, в том числе представленные пелоидами, испытывают антропогенную нагрузку. Сопоставление литературных данных с результатами оценки экологического состояния донных отложений и пелоидов показало хорошую сходимость, что является подтверждением состоятельности предложенных методик.



Рисунок 6 – Карта-схема оценки экологического состояния пелоидов

водных объектов Юга России: 11 – оз. Чембурское, г. Анапа; 15 – оз. Пелёнкино; 16 – оз. Большой Тамбукан; 17 – оз. Малый Тамбукан; 26 – оз. Соленое (Медвеженское); 27 – оз. Птичьё; 28 – оз. Соленое (Александровский район); 29 – оз. Соленое (Нижнепетровское); 30 – оз. Лушниковское (Соленое); 31 – оз. Баскунчак; 32 – оз. Эльтон; 33 – р. Сморогда; 34 – ильмень Белямин.

Таким образом, применение триады химико-микробиологических показателей: СРК, метан и сероводород представляется научно обоснованным и позволяет получить комплексную информацию об экологическом состоянии донных отложений. Для оценки экологического состояния пелоидов следует ограничиться применением двух показателей: СРК и метан. В связи с полученными результатами возникает необходимость выявления источников антропогенного воздействия на Артемовское водохранилище, р. Глубокая, р. Кадамовка, р. Темерник, а также на озера Чембурское и Соленое (Нижнепетровское).

В заключении приведены основные результаты.

В результате проведённых исследований получены следующие выводы:

1. Несмотря на различный генезис, период формирования, гидрологический и гидрохимический режим исследуемых водных объектов, в числе которых реки, озера, ручьи, залив, пруд-отстойник и пруд-аэратор шахт и др. общей особенностью литологического состава донных отложений является присутствие ила черного цвета различной мощности и размерности.

2. Для донных отложений характерны следующие кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия среды: значения рН изменялись от слабокислых до слабощелочных и щелочных с преобладанием слабощелочных, а в донных отложениях подавляющего большинства водных объектов преобладала восстановительная обстановка. Отмечен тренд повышения значений рН в донных отложениях с увеличением процентного содержания песчаного и мелкого ракушечного материала.

Обнаружена тенденция снижения значений Eh в ряду: илистый песок → смешанные песчано-иловые отложения → темно-серые и черные илы. В исследованных донных отложениях наблюдается асинхронное изменение значений водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала с глубиной.

3. Установлено, что самые высокие средние значения содержания метана и сероводорода приурочены к донным отложениям малых рек и искусственных водоемов Ростовской области (станции № 1–10, 25, 35). При этом содержание восстановленных газов по направлению к более глубоким слоям донных отложений может как увеличиваться, так и уменьшаться.

4. Обнаружена тенденция увеличения численности СРК в донных отложениях, в том числе пелоидов, в ряду следующих групп водных объектов: Кизилташские лиманы и соленые озера → малые реки и искусственные водоемы Ростовской области → прибрежная зона юго-восточной части Таганрогского залива. Особенности распределения СРК в толще донных отложений можно охарактеризовать следующим образом: максимальная численность СРК более чем на 85% станций отбора проб приурочена к слою 0–10 см донных отложений, в то время как минимальные значения численности СРК характерны для более глубоких слоев донных отложений, что позволяет говорить о тренде уменьшения численности СРК по направлению к более глубоким слоям донных отложений.

5. Установлены связи между ростом численности СРК и увеличением содержаний суммарного сероводорода и метана в донных отложениях водных объектов Юга России, что является косвенным свидетельством участия СРК в образовании метана и сероводорода в донных отложениях водных объектов. В ходе лабораторного эксперимента доказано, что СРК, наряду с бактериями–метаногенами и сульфатредукторами, могут принимать непосредственное участие в образовании метана и сероводорода в донных отложениях водных объектов, находящихся под мощным антропогенным воздействием.

6. Разработанная на основе оригинальных данных шкала оценки экологической обстановки в донных отложениях по содержанию в них (слой 0–5 см) сероводорода может быть применена для донных отложений водных объектов Юга России, не имеющих бальнеологического назначения. Метан и сероводород являются взаимодополняющими показателями, совместное применение которых позволяет получить более полную и объективную информацию об экологической обстановке в донных отложениях.

7. Фекальное загрязнение по титру клостридий зарегистрировано в донных отложениях 31 из 35 исследованных водных объектов. Исследованные пелоиды, за исключением озера Соленое (Медвеженское),

не могут быть рекомендованы для использования в лечебных целях без предварительной очистки.

8. Результаты оценки экологического состояния донных отложений, в том числе пелоидов, указывают на антропогенное воздействие хозяйственно-бытовых и сточных вод на большинство исследованных водных объектов Юга России.

9. Совместное применение химико-биологических показателей: СРК, метан и сероводород представляется научно обоснованным и позволяет оценить экологическое состояние донных отложений, которые не представлены пелоидами. Для оценки экологического состояния пелоидов следует ограничиться применением двух показателей: СРК и метан.

10. Разработанные карта-схемы экологического состояния донных отложений и пелоидов водных объектов Юга России с использованием сведений по содержанию восстановленных газов и численности сульфитредуцирующих клостридий демонстрируют масштаб антропогенного воздействия на водные объекты Юга России.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Всего по теме диссертации опубликовано 35 научных работ (в том числе в соавторстве). Ниже перечислены основные работы.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Coastal peloids as geological heritage: evidence from the Taman peninsula (Southwestern Russia) / Y. A. Fedorov, D. N. Gar'kusha, R. G. Trubnik [et al.] // *Water*. – 2019. – Vol. 11, No. 6. – P. 1119. – DOI 10.3390/w11061119
2. Fedorov, Y. A. Clostridia in commercial fish of the Azov and Black seas and in aquaculture facilities in the southern region of Russia / Y. A. Fedorov, R. G. Trubnik, M. A. Morozova // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – P. 37-45. – DOI 10.3844/ojbsci.2019.37.45
3. Sulfite-reducing clostridia and their participation in methane and hydrogen sulfide formation in the bottom sediments of water objects and streams of the ETR South / Y. A. Fedorov, D. N. Gar'kusha, R. G. Trubnik, M. A. Morozova // *Water Resources*. – 2019. – Vol. 46, No. S1. – P. 85-93. – DOI 10.1134/S009780781907008X
4. Fedorov, Y. A. Bacteria of the clostridium genus, methane and hydrogen sulfide in sulfide mud of the Taman peninsula reservoirs / Y. A. Fedorov, G. D. Nikolayevich, R. G. Trubnik // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2018. – Vol. 18, No. 3. – P. 315-322. – DOI 10.3844/ojbsci.2018.315.322.
5. Trubnik, R. G. Recovered gases and bacteria from the Clostridium genus as ecological condition indicators of bottom sediments of the eastern Donbass small rivers / R. G. Trubnik, Y. A. Fedorov, L. A. Nedoseka // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 17, No. 3. – P. 201-210. – DOI 10.3844/ojbsci.2017.201.210
6. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of lower reaches of the Don River (Russia) and their ecotoxicologic assessment by bacterial lux-biosensors / I. S. Sazykin, M. A. Sazykina, M. I. Khammami [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2015. – Vol. 187, No. 5. – DOI 10.1007/s10661-015-4406-9

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

7. Федоров, Ю. А. О связи физико-химических параметров и содержания восстановленных газов с сульфитредуцирующими клостридиями в донных отложениях малых рек / Ю. А. Федоров, М. А. Морозова, Р. Г. Трубник // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. – 2016. – № 1(189). – С. 95-100
8. Гидрохимия группы соленых озер Ставропольского края / Ю. А. Федоров, Д. Н. Гарькуша, Р. Г. Трубник, Б. В. Талпа // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. – 2018. – № 4(200). – С. 100-106