

На правах рукописи



Жидкова Алена Юрьевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД
ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ

7 НОЯ 2017

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук



Таганрог – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
директор НОЦ "Микросистемной
техники и мультисенсорных
мониторинговых систем" ЮФУ
Петров Виктор Владимирович

Официальные
оппоненты: **Есин Николай Васильевич**,
доктор географических наук, старший научный
сотрудник,
главный научный сотрудник Южного отделения
Института Океанологии РАН, руководитель группы
экологии

Жукова Светлана Витальевна
кандидат географических наук, доцент
заведующая лабораторией ФГБНУ «Азовский научно-
исследовательский институт рыбного хозяйства»

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Гидрохимический институт»**

Защита диссертации состоится 14 декабря 2017г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.208.12 при ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, д. 40, Институт Наук о Земле ЮФУ, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, д. 21 Ж и на сайтах sfedu.ru/diss/announcements и vak.ed.gov.ru

Автореферат разослан «25» октября 2017 г.

Отзывы на автореферат (заверенные печатью, в двух экземплярах) просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, д. 40, Институт Наук о Земле ЮФУ на имя секретаря диссертационного совета Д 212.208.12. E-mail: diana@sfedu.ru. Факс: 8 (863) 222-57-01.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.208.12
кандидат географических наук, доцент



Д.Ю. Шишкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Таганрогский залив Азовского моря является мелководным объектом и характеризуется перемешанностью водных слоев с преобладающими сгонно-нагонными течениями. Залив относится к солоноватому типу водных объектов, ключевую роль в формировании полей солёности акватории играет сток Дона. Характерным для Таганрогского залива является сильная зависимость поля температуры от солнечной и тепловой радиации как в поверхностных слоях воды, так во всей водной массе. В воды залива поступает большое количество биогенных веществ, в частности аммоний иона, нитратов, фосфатов. Их основными источниками поступления является сток р. Дон.

В Таганрогском заливе Азовского моря за последние 20 лет произошло очевидное снижение качества воды, уменьшилось биоразнообразие, началось заболачивание залива в прибрежной зоне. Таким образом, актуальным становится определение качества и состояния вод Таганрогского залива с позиции оценки трофности.

Концентрация биогенных веществ в воде представляется исходным показателем процесса эвтрофирования, развитие же продукционных процессов выступает следствием, зависящим от ряда абиогенных факторов, в первую очередь гидрологических и радиационно-термических особенностей водного объекта. Поэтому для полного понимания процессов эвтрофикации важно выяснить какие именно биогенные, гидролого-гидрохимические и радиационно-термические особенности влияют на нарушение баланса экосистемы.

Расчет степени трофности является актуальной задачей. Трофность водного объекта оценивалась с биологических позиций (концентрации биогенных веществ в воде, а именно нитратов, нитритов, аммоний иона, фосфатов) и по гидролого-гидрохимическим параметрам (скорость течения, температура воды, солёность, содержание растворенного в воде кислорода, pH). Данное исследование отображает современные данные по экологическому

состоянию вод северо-восточной части Таганрогского залива с позиции оценки трофности. Полученная в работе статистическая модель показателя трофности позволяет не только рассчитывать степень эвтрофирования, но и подробно описать какие параметры влияют на данный процесс. Важно отметить, что в модели степень эвтрофирования оценивается не по общим азоту и фосфору, а по конкретным их соединениям: нитратам, аммоний иону и фосфатам.

Тема диссертации связана с геоэкологическим исследованием вод северо-восточной части Таганрогского залива, построением статистической модели изменения показателя трофности, расчетом внешней антропогенной нагрузки на воды залива, расчетом экологически допустимых концентраций биогенов и экологического резерва вод акватории залива.

Степень разработанности проблемы.

Определение качества и состояния вод природного водного объекта является одной из важнейших задач охраны окружающей водной среды. Решению этой задачи посвящены исследования многих авторов: Александрова З.В., Алексеев М.И., Белоцерковская В., Беляев А.Г., Бердников С.В., Бертокс П., Гаргопа Ю.М., Даценко Ю.С., Ивлиева О. В., Игнатенко М.Е., Кукса В.И., Корпакова И.Г., Кренева С. В., Матюхин А.Е., Матишов Г. Г., Моисеенко Т. И., Немцева Н.В., Науменко М. А., Пакурина А.П., Платонова Т.П., Сухинов А.И., Сергеев Ю. Н., Сиренко Л. А., Тимофеева Н. А., Тесаков А.С., Титов В.В., Ромова М. Г., Радд Д., Федоров Ю.А., Фомин С.Ю., Марклэнд Х.Р., Хурина О.В., Цыбекмитова, Г. Ц., Шмелева И.В., Яценко-Степанова Т.Н. и др.

Качество и состояние природных вод зависит от большого набора различных физических, гидролого-гидрохимических, гидробиологических параметров: температуры воды, солености, концентраций растворенных биогенных веществ и др., что делает необходимым разработку интегральных показателей, в совокупности отражающих эти факторы вод. Такие исследования освещены в работах Цветковой Л.И., Студеннихиной Е.И., Дзюпак-Неверовой Е.В., Чикиной Л. Г., Копиной Г.И. и др.

Однако, существующие исторические данные по определению показателя трофности в водах Таганрогского залива Азовского моря практически отсутствуют, являются обрывочными и неоднородными. Систематических исследований по построению статистической модели показателя трофности вод данного водного объекта, определению показателя трофности, экологически допустимых концентраций и экологических резервов по содержанию нитратов, аммоний иона и фосфатов в водах Таганрогского залива не проводилось.

Цель диссертации – на основе теоретических и экспериментальных исследований провести пространственно-временную геоэкологическую оценку северо-восточной части вод Таганрогского залива Азовского моря, а именно: разработать статистическую модель изменения показателя трофности вод акватории, оценить внешнюю нагрузку биогенов на водный объект, определить экологически допустимые концентрации биогенов и их экологические резервы, а также выявить биоген, лимитирующий эвтрофирование водного объекта.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Определение показателя трофности вод северо-восточной части Таганрогского залива и построение статистической модели изменения трофности.
2. Расчет общей внешней нагрузки на воды северо-восточной части Таганрогского залива на основе рассчитанных частных нагрузок.
3. Расчет экологически допустимых концентраций для нитратов, аммоний иона и фосфатов.
4. Расчет экологических резервов вод северо-восточной части Таганрогского залива для нитратов, аммоний иона и фосфатов.
5. Выявление сравнительной роли соединений азота и фосфора в эвтрофировании вод северо-восточной части Таганрогского залива на основе экспериментальных исследований, определение лимитирующего фактора.

Объект исследования – воды северо-восточной части Таганрогского залива. **Предмет исследования** – показатель трофности вод в акватории, изменение его в пространстве и времени, а также выявление причин.

Методы исследования – теоретические, модельные и натурные, а также эксперименты, включающие лабораторное моделирование процессов эвтрофирования, их математическое описание и статистический анализ.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 – «Геоэкология»: п. 1.8. Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны; п.1.12 Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля; п. 1.14 Моделирование геоэкологических процессов; п. 1.17 Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

Положения, выносимые на защиту:

1. Наиболее значимыми факторами, влияющими на эвтрофирование вод северо-восточной части Таганрогского залива за период с 2002 по 2015 года являются: 1) температура воды; 2) нитраты; 3) соленость; 4) аммоний ион; 5) фосфаты, значимость которых снижается в указанной последовательности.
2. Эмпирическая статистическая модель изменения показателя трофности вод для северо-восточной части Таганрогского залива за период 2002-2015гг., которая показала, что в настоящее время воды акватории находятся в мезотрофном состоянии, переходящим в эвтрофное.
3. Наибольший вклад в период с 2002 по 2012 гг. в общую внешнюю нагрузку вод северо-восточной части Таганрогского залива для нитратов вносят речной сток (96,3 %) и сточные воды (3,6 %), для аммоний иона – речной

сток (99,8 %) и сточные воды (0,1 %), для фосфатов – речной сток (99,6 %) и сточные воды (0,3 %). Общая внешняя нагрузка составила 14049,66 т/год для фосфатов, 21256,13 т/год для аммоний иона, 40012,00 т/год для нитратов.

4. Экологический резерв вод северо-восточной части Таганрогского залива с 2002 по 2015 гг. истощен для нитратов, аммоний иона и фосфатов. Экологически допустимые концентрации составили: для нитратов – 0,129 мг/дм³, для аммоний иона – 0,153 мг/дм³, для фосфатов – 0,110 мг/дм³. Уравнения ЭДК за 2002-2015гг. принимают вид:

$$\text{ЭДК}(\text{NH}_4^+) = -1,892 + 0,020[\text{NO}_3] - 0,876[\text{PO}_4] + 0,108[t] + 0,098[\text{‰}]$$

$$\text{ЭДК}(\text{NO}_3) = 95,523 + 50,476[\text{NH}_4^+] + 44,238[\text{PO}_4] - 5,429[t] - 4,952[\text{‰}]$$

$$\text{ЭДК}(\text{PO}_4) = -2,159 - 1,141[\text{NH}_4^+] + 0,023[\text{NO}_3] + 0,123[t] + 0,112[\text{‰}]$$

Научная новизна проведенных исследований:

– разработана статистическая модель определения показателя трофности вод северо-восточной части Таганрогского залива;

– оценен показатель трофности вод акватории за 2002-2015 гг. на основе общепределяемых показателей, не прибегая к специальным дорогостоящим методам;

– определена общая внешняя нагрузка и доминантные источники поступления биогенных веществ в воды залива за 2002-2012гг.;

– определены экологически допустимые концентрации биогенных веществ и экологические резервы для данного водного объекта за 2002-2015гг.;

– выявлены факторы, лимитирующие процесс эвтрофирования акватории, за временной период с 2002 по 2015 года.

Практическая значимость исследования заключается в проведении геоэкологической пространственно-временной оценке, расчете показателя трофности и оценке трофического состояния вод северо-восточной части Таганрогского залива. Полученная статистическая модель расчета показателя трофности вод позволит прогнозировать состояние залива, анализируя сравнительно небольшой объем информации. Вычисление внешней нагрузки на водный объект, экологически допустимых концентраций и экологического

резерва исследуемой акватории наглядно показывает, какие источники поступления биогенных веществ в северо-восточную часть Таганрогского залива оказывают на него наибольшее влияние и позволит сосредоточиться на контроле именно этих источников. Использованная методика экспериментальных исследований сравнительной роли соединений азота и фосфора в эвтрофировании вод акватории позволяет определить, какой из биогенов играет доминирующую роль в этом процессе.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу работы положен оригинальный фактический материал за период с 2002 по 2015 гг., полученный в ходе экспедиционных исследований ФГУП «Азовморинформцентр» и работы МУП «Водоканал» г. Таганрога, а также оригинальные исследования автора по моделированию процессов эвтрофирования, проводимые в 2014 году на кафедре техносферной безопасности и химии Южного федерального университета и в НОЦ "Микросистемной техники и мультисенсорных мониторинговых систем". Данные ФГУП «Азовморинформцентр» получены в течение 2002-2015 гг., данные МУП «Водоканал» получены в течение 2002-2012гг. Диссертантка проводила исследования проб воды Таганрогского залива, а именно: отбор проб, их подготовку к дальнейшему анализу, выполняла определения показателей рН, температуры воды, солености, концентрации аммоний иона, нитратов и фосфатов. Кроме того, ею выполнен сбор и обобщение данных, их обработка, в том числе картографическая, и анализ. В работе использованы результаты анализов проб морских и сточных вод на определение температуры воды, солености, содержания растворенного кислорода, рН, нитратов, аммоний иона, нитритов и фосфатов. Обобщено более 2700 результатов анализов, проведено 735 оригинальных определений содержания биогенов и гидролого-гидрохимических показателей.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались на следующих конференциях и научных семинарах: Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты развития науки, образования и

модернизации промышленности», естественные науки, Таганрог, 20 мая 2016, Всероссийской конференции молодых ученых «Техносфера XXI века», г. Севастополь, 24-28 мая 2016 г., Всероссийской научно-практической конференции «Аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности», г. Таганрог, 21 мая, 2016 г., Международной научно-практической конференции «Новая наука: теоретический и практический взгляд», Стерлитамак, 14.11.2015г., Международной научно-практической конференции «Новая наука: теоретический и практический взгляд», Стерлитамак, 14.12.2015г., VII Всероссийской научной конференции «Экология 2013 – море и человек», Таганрог, 17-20 сент. 2013; XVII международном форуме по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – Новый мир», Москва, 2013; Международном молодежном научном форуме «Ломоносов-2013», Москва, 2013; XVII Международном форуме по проблемам науки, техники и образования, Москва, 2013; Региональной студенческой конференции «Фестиваль недели науки Юга России», ЮФУ, 2013; Международном молодежном научном форуме «Ломоносов-2014», Москва, 2014; Всероссийской молодежной конференции «Развитие студенческих научных обществ и молодежных инновационных центров для решения задач регионального социально-экономического развития», ЮФУ, 2012; VII Международной XVIII Традиционной научно-практической конференции «Экологический интеллект – 2012», Днепропетровск, 2012; Международном молодежном конкурсе «Студент и научно-технический прогресс», Ростов-на-Дону, 2012; VIII Международной XVIII Традиционной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Плахотника В.Н. «Экологический интеллект – 2013», Днепропетровск, 2013.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в шести статьях: одна из которых в журнале, входящем в базу Scopus, пять в журналах, входящих в список ВАК, и двенадцати работах в сборниках трудов конференций (РИНЦ). Часть материалов опубликована в отчете внутреннего гранта ЮФУ (№ 213.01-24/2013-81) и отчете гранта РФФИ (№ 16-35-00420).

Конкурсная поддержка работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 5.948.2017/ПЧ).

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, профессору, д.т.н. Петрову В.В. А также выражает благодарность и признательность за всестороннюю поддержку, ценные советы и помощь при написании данной работы доц., к.п.н. Гусаковой Н.В. и всему коллективу кафедры техносферной безопасности и химии Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного Федерального Университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность проблемы исследования, обосновывается постановка проблемы, формулируется цель и задачи работы, раскрывается практическая значимость.

Первая глава посвящена анализу понятия и теории эвтрофикации, анализу современных исследований Азовского моря и процессов эвтрофирования, общим правилам построения статистической регрессионной модели.

В литературе разработан показатель трофности водоемов (Цветкова Л.И.), учитывающий гидрохимические параметры и отражающий совокупность процессов фотосинтеза и деструкции органического вещества в водоеме. Этот показатель трофности ($T_{Цв}$), приведенный к нормальному 100 %-ному насыщению воды кислородом, определяется по формуле:

$$T_{Цв} = \frac{(\sum_{i=1}^n [pH]_i)}{n} - \left[\frac{(\sum_{i=1}^n [O_2]_i \cdot [pH]_i) - (\sum_{i=1}^n [O_2]_i) \frac{\sum_{i=1}^n [pH]_i}{n}}{(\sum_{i=1}^n [O_2]_i)^2 - (\sum_{i=1}^n [O_2]_i)^2} \right] \cdot \left[100 - \frac{\sum_{i=1}^n [O_2]_i}{n} \right], \quad (1)$$

где $T_{Цв}$ – показатель трофности; n- число измерений; [pH]- измеренное значение рН при разовом замере; [O₂]- степень насыщения воды кислородом при данной температуре при разовом замере, %; 100 – 100 %-ая степень насыщения воды кислородом.

Расчетный показатель трофности $T_{дв}$ сравнивают с его константными численными значениями для различных экологических состояний водоема. Данный метод подходит для пресноводных и солоноватых водоемов, отличается относительной простотой, доступностью и дешевизной.

Поскольку известный способ определения трофности основан на измерении двух взаимосвязанных стандартных показателей (растворенного кислорода и рН), измеряемых непосредственно в водоеме, это позволяет учитывать большинство внутриводоемных гидрохимических и биологических процессов.

Однако, данный метод не позволяет оценить долю влияния других компонентов на трофический статус вод. В связи с этим, была поставлена задача разработки показателя, позволяющего рассмотреть и оценить степень влияния других компонентов (температуры воды, солености, концентрации нитратов и др.) на эвтрофирование вод мелководного пресного водоема с низкой скоростью течения.

В последнее время наибольшее распространение определения уровня эвтрофирования водоема получили методы, основанные на математическом моделировании и использовании различных компьютерных моделей.

Во второй главе проводится анализ гидролого-гидрохимических показателей вод Таганрогского залива скорости течения воды, солености, температуры вод, содержания растворенного кислорода, рН, содержания биогенных веществ в водах Таганрогского залива.

Измерения проводились в 20 местах отбора проб в течение 14 лет в период с 2002 по 2015 годы ФГУП «Азовморинформцентр». Места отбора проб указаны на рисунке 1.

Приведенным в литературе способом (определение показателя трофности по методу Цветковой Л.И.) нами впервые для вод северо-восточной части Таганрогского залива был рассчитан показатель трофности, показавший: степень эвтрофирования водоема неоднородна и изменяется от точки к точке.

В третьей главе построена регрессионная модель процесса эвтрофирования вод северо-восточной части Таганрогского залива, учитывающая природные особенности акватории:

$$T_{\text{стат.}} = k_0 + k_1[\%o] + k_2[t] + k_3[\text{NH}_4^+] + k_4[\text{NO}_3] + k_5[\text{PO}_4] + k_6[\text{NO}_2] + k_7[v], \quad (3)$$

где $T_{\text{стат.}}$ – показатель трофности; [%o]- соленость, ‰; [t]- температура воды, °C; $[\text{NH}_4^+]$ – концентрация аммоний иона, мг/дм³; $[\text{NO}_3]$ – концентрация нитратов, мг/дм³; $[\text{PO}_4]$ – концентрация фосфатов, мг/дм³; $[\text{NO}_2]$ – концентрация нитритов, мг/дм³; [v] – скорость течения воды, м/с; k – эмпирические коэффициенты.

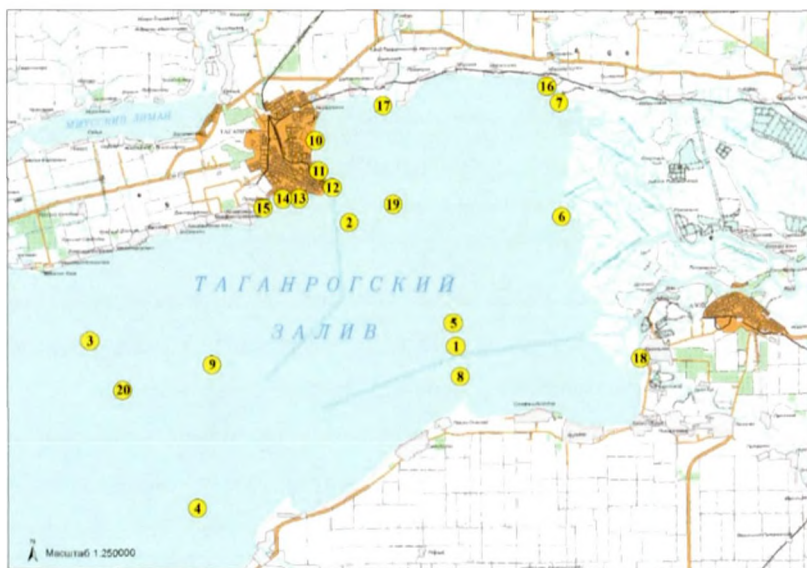


Рис. 1 Места отбора проб воды в Таганрогском заливе

При проведении регрессионного анализа с полным набором факторов было выявлено, что концентрация нитритов, а также средняя скорость течения воды в заливе являются статистически незначимыми компонентами регрессионной модели; эвтрофирование вод северо-восточной части Таганрогского залива в основном зависит от солености, температуры воды, концентрации аммоний иона, нитратов и фосфатов. Особенностью исследуемого водоема является

мелководность, отсутствие температурной стратификации вод, почти полное отсутствие течения, наличие сгонно-нагонных ветровых явлений.

Для оценки роли каждого фактора (3) в эвтрофировании вод северо-восточной части Таганрогского залива и определения приоритетных факторов проверялось наличие корреляции между известными в литературе границами показателя трофности и оцениваемыми факторами.

Проведенный анализ позволяет использовать в качестве модели эвтрофирования линейное уравнение множественной регрессии:

$$T_{\text{стат.}} = k_0 + k_1[\%_0] + k_2[t] + k_3[\text{NH}_4^+] + k_4[\text{NO}_3] + k_5[\text{PO}_4], \quad (4)$$

Далее на основе базы данных среднеголетних концентраций биогенов по Таганрогскому заливу были получены эмпирические коэффициенты уравнения:

$$T_{\text{стат.}} = 6,294 + 0,104[\%_0] + 0,114[t] - 1,06[\text{NH}_4^+] + 0,021[\text{NO}_3] - 0,929[\text{PO}_4], \quad (5)$$

Проверка значимости уравнения регрессии: коэффициент корреляции 0,822; коэффициент детерминации R^2 – 0,676; стандартная ошибка оценки 0,205; F-критерий – 22,13; t-критерий Стьюдента для солености равен 3,11, для температуры – 9,38, для аммоний иона – 2,95, для нитратов – 3,61, для фосфатов – 2,09. Следовательно, все коэффициенты уравнения регрессии являются статистически значимыми.

Таким образом, наиболее значимыми факторами, влияющими на эвтрофирование вод северо-восточной части Таганрогского залива за период с 2002 по 2015 года являются: 1) температура воды; 2) нитраты; 3) соленость; 4) аммоний ион; 5) фосфаты, значимость которых снижается в указанной последовательности.

Проверка на адекватность и верификация модели показали, что коэффициент корреляции равен 0,858, коэффициент детерминации 0,736.

Верификация модели проведена по данным 2002 года, не учтенных при построении модели. Расчетные значения $T_{\text{стат.}}$ отклонялись от эмпирических не более чем на 15%. Проведенный корреляционный анализ подтвердил, что

эвтрофирование зависит от концентрации биогенных веществ и солености, а также в значительной степени определяется температурой воды.

Таким образом, впервые рассчитан статистический показатель трофности $T_{\text{стат}}$ по факторам, в наибольшей степени влияющим на трофический статус вод северо-восточной части Таганрогского залива Азовского моря. Модель верифицирована с удовлетворительной степенью адекватности (82,2%).

На рисунках 2-4 представлены картосхемы изменения показателя трофности (в 2009, 2012, 2015 года). На них видно, что зоны наибольшего показателя трофности в 2009 и 2012 года находились в районе г. Таганрог, наименьшие – ближе к границе района. В 2015 году практически вся исследуемая зона имела высокий показатель трофности (больше 8,2). Площади эвтрофных зон в 2009 году составили 731 км², в 2012 - 936 км², в 2015 – 636 км².

Северо-восточная часть Таганрогского залива относится к водному объекту мезотрофного типа, переходящего в эвтрофный. Наименьший средний за вегетационный период показатель наблюдался в 2002 и 2003 годах (7,24), наибольший в 2011 (9,69).

Глава четвертая посвящена определению общей внешней нагрузки биогенов (аммоний иона, нитратов и фосфатов) на северо-восточную часть Таганрогского залива.

Общая внешняя нагрузка зависит от многих факторов: количества и типов точечных источников; рельефа площади водосбора (рис. 5) и видов землепользования; геологических особенностей местности; гидрологических характеристик водоемов и водотоков и др. Метод расчета нагрузки основан на расчетах элементов следующего уравнения:

$$J = J_{\text{ст.в}} + J_{\text{расс. ист}} + J_{\text{пл. ст}} + J_{\text{рекр}} + J_{\text{водн. тр.}} + J_{\text{атм}} + J_{\text{реч.ст}}, \quad (6)$$

где J – суммарная нагрузка фосфора или азота, т/год; $J_{\text{ст. в}}$, $J_{\text{расс. ист}}$, $J_{\text{пл. ст}}$, $J_{\text{рекр}}$, $J_{\text{водн. тр.}}$, $J_{\text{атм}}$, $J_{\text{реч. ст}}$ – нагрузка, формируемая сточными водами; рассеянными источниками; плоскостным стоком; зоной рекреации; от эксплуатации водного транспорта; атмосферными осадками и речным стоком, т/год.

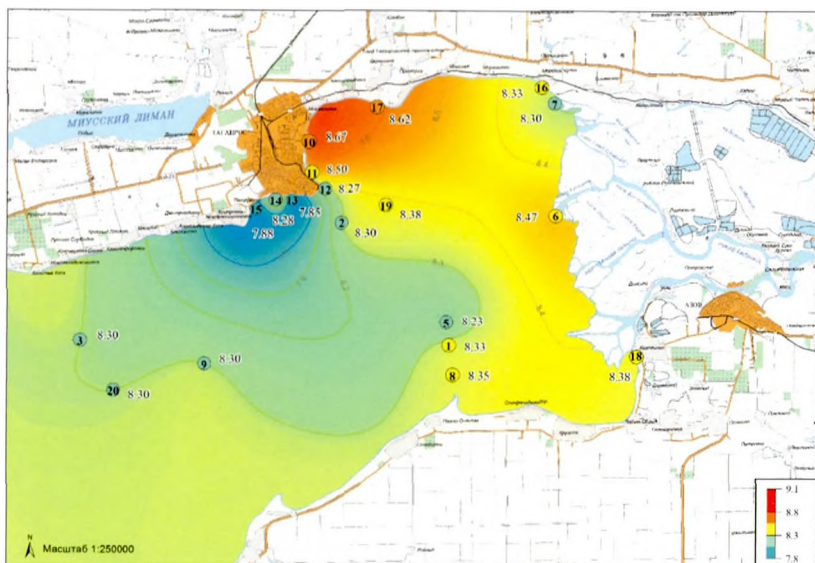


Рис. 2 Средние за вегетационный период показатели трофности в северо-восточной части Таганрогского залива в 2009г.

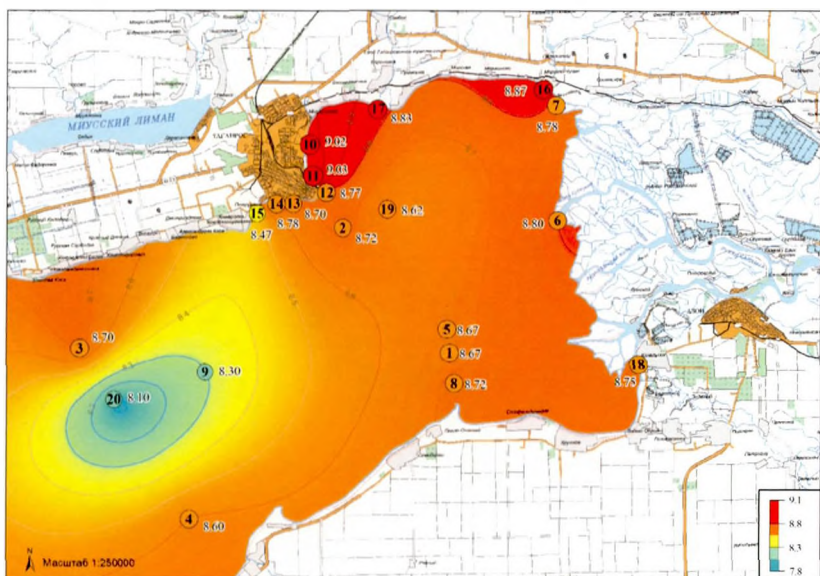


Рис. 3 Средние за вегетационный период показатели трофности в северо-восточной части Таганрогского залива в 2012г.

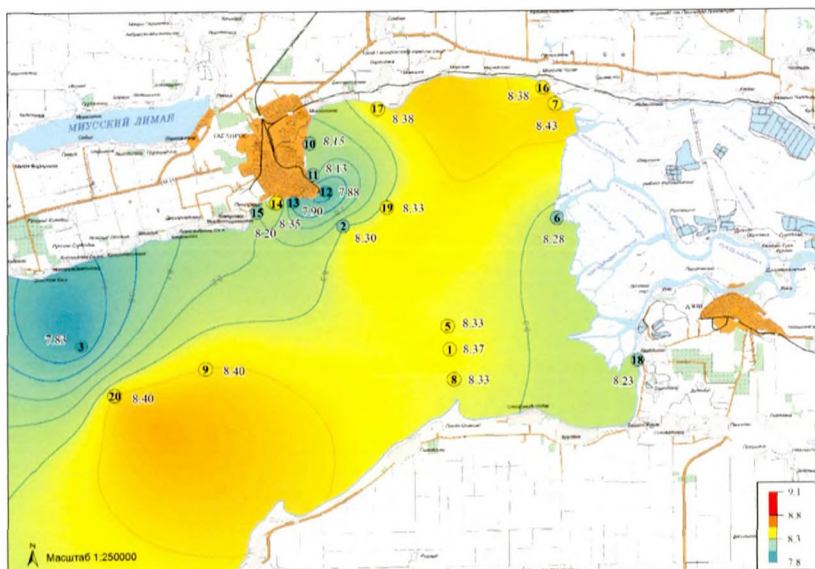


Рис. 4 Средние за вегетационный период показатели трофности в север-восточной части Таганрогского залива в 2015г.

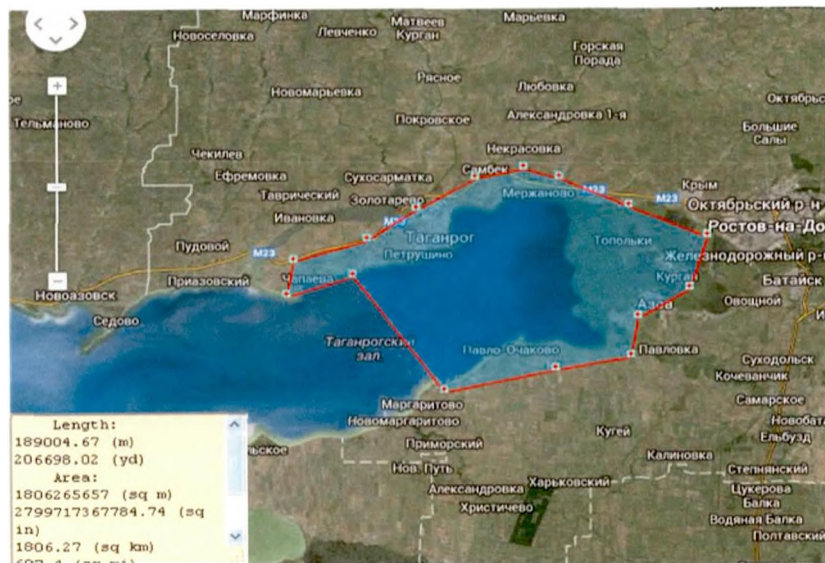


Рис. 5. Исследуемая площадь территории в районе Таганрогского залива

Для вод северо-восточной части Таганрогского залива уравнение (6) для каждого компонента примет вид (коэффициенты округлены до пятого знака, для выбора наиболее значимых):

$$J(\text{PO}_4) = 0,0030J_{\text{ст.в.}} + 0,9969J_{\text{реч.ст}} + 0,0001J_{\text{пр.}} \quad (7)$$

$$J(\text{NH}_4^+) = 0,001J_{\text{ст.в.}} + 0,9989J_{\text{реч.ст}} + 0,0001J_{\text{пр.}} \quad (8)$$

$$J(\text{NO}_3) = 0,0358J_{\text{ст.в.}} + 0,9639J_{\text{реч.ст.}} + 0,0003J_{\text{пр.}} \quad (9)$$

где $J_{\text{пр}}$ – прочие источники поступления фосфатов, аммоний иона и нитратов, соответственно.

Общая внешняя нагрузка на в северо-восточную часть Таганрогского залива составила: 14049,660 т/год – для фосфатов, 21256,127 т/год – для аммоний иона, 40012,000 т/год – для нитратов.

Анализируя долю внешней нагрузки от сточных вод и стока рек, можно сделать вывод, что основными источниками поступления фосфатов в Таганрогский залив являются речной сток (99,6 %) и сточные воды (0,3 %);

основными источниками поступления аммоний иона в Таганрогский залив являются речной сток (99,8 %) и сточные воды (0,1 %);

основными источниками поступления нитратов в Таганрогский залив являются речной сток (96,3 %) и сточные воды (3,6 %).

В данном исследовании проведена конкретная оценка (в %) поступления аммоний иона, нитратов и фосфатов в воды залива от таких источников как: речной сток, сточные воды, зона рекреации, водный транспорт, атмосферные осадки, плоскостной сток и рассеянные источники. Таким образом, основным источником поступления биогенных веществ в акваторию северо-восточной части Таганрогского залива является р. Дон. Несмотря на то, что количество биогенных веществ, поступающей со сточными водами, не так велико, им пренебрегать нельзя, так как для этих вод возможно проведение доочистки и, как следствие, снижение поступления биогенов в воды залива. Таким образом, наибольшую роль в эвтрофировании Таганрогского залива играют речной сток и сточные воды.

В пятой главе раскрывается метод оценки качества вод северо-восточной части Таганрогского залива по показателю трофности. Проводится расчет экологически допустимых, не ухудшающих состояния водоема, концентраций (ЭДК) биогенных веществ. Задавая значения показателя трофности, нормативные для данного водоема, можно записать:

$$T^H \geq k_0 + k_1[NH^+_4] + k_2[NO_3] + k_3[PO_4] + k_4[t] + k_5[\%o] \quad (10)$$

Следовательно,

$$\text{ЭДК}(NH^+_4) = [(T^H - 6,294) - 0,21[NO_3] + 0,929[PO_4] - 0,114[t] - 0,104[\%o]] / -1,06 \quad (11)$$

$$\text{ЭДК}(NO_3) = [(T^H - 6,294) + 1,06[NH^+_4] + 0,929[PO_4] - 0,114[t] - 0,104[\%o]] / 0,021 \quad (12)$$

$$\text{ЭДК}(PO_4) = [(T^H - 6,294) + 1,06[NH^+_4] - 0,21[NO_3] - 0,114[t] - 0,104[\%o]] / -0,929 \quad (13)$$

Уравнения ЭДК для северо-восточной части Таганрогского залива за 2002-2015 гг. принимают вид:

$$\text{ЭДК}(NH^+_4) = -1,892 + 0,020[NO_3] - 0,876[PO_4] + 0,108[t] + 0,098[\%o] \quad (14)$$

$$\text{ЭДК}(NO_3) = 95,523 + 50,476[NH^+_4] + 44,238[PO_4] - 5,429[t] - 4,952[\%o] \quad (15)$$

$$\text{ЭДК}(PO_4) = -2,159 - 1,141[NH^+_4] + 0,023[NO_3] + 0,123[t] + 0,112[\%o] \quad (16)$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Оценка экологического резерва (ЭР) водоема рассчитывалась по формуле:

$$\text{ЭР} = (\text{ЭДК}_i - C_i) \cdot Q, \quad (17)$$

где ЭР – экологический резерв водного объекта, т/год; ЭДК_{*i*} – экологически допустимая концентрация *i*-того вещества, г/м³; C_{*i*} – концентрация *i*-того вещества в воде водоема, г/м³; Q – суммарный расход воды, м³/год.

Для оценки изменения состояния водоема определялись ЭДК и ЭР отдельно для каждого года.

Расчеты ЭР показали, что для фосфора наблюдается положительная динамика, т.е. его ЭР постепенно увеличивается. Аналогичная ситуация наблюдается для аммоний иона. ЭР для нитратов разнится от года к году, но в

целом в последние годы остается на уровне среднемноголетнего.

Таблица 1.

Экологически допустимые концентрации (ЭДК) и экологические резервы (ЭР) для вод северо-восточной части Таганрогского залива

Показатель	ЭДК, мг/л	ЭР, т/год
Аммоний ион	0,153	0,076
Нитраты	0,129	-3,862
Фосфор	0,110	0,103

Из расчетов следует, что экологический резерв залива значительно истощён. Экосистема залива не в состоянии самостоятельно справиться с тем количеством биогенных веществ, которые в нее поступают. Именно величина нагрузки приводит к увеличению трофности залива и к истощению его экологического резерва.

Для определения сравнительной роли азота и фосфора в эвтрофировании вод северо-восточной части Таганрогского залива был проведен ряд экспериментальных исследований. В качестве значимых факторов эвтрофирования были приняты концентрации нитратов, аммоний иона, фосфатов, а также температура воды, соленость и рН.

Для сравнительной оценки влияния азота и фосфора на скорость эвтрофирования рассчитали изменение степени трофности при добавках солей различных концентраций (нитратов и фосфатов) в опытах с пробами воды из Таганрогского залива относительно контрольной пробы. Определили эффект влияния биогенных добавок:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta T_{\text{оп.}} - \Delta T_{\text{контр.}}}{\Delta T_{\text{контр.}}} \cdot 100\% \quad (18)$$

где \mathcal{E} – эффект влияния биогенных добавок, %; $T_{\text{оп.}}$ и $T_{\text{контр.}}$ – изменение величины показателя трофности в опыте и контрольной пробе соответственно.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Эффект влияния биогенных добавок на скорость эвтрофирования.

KН ₂ PO ₄		NH ₄ Cl	
[P], мг/л	Э, %	[N], мг/л	Э, %
1,36	22,47	2,67	51,55
1,09	16,49	1,91	45,65
0,41	10,14	1,146	38,17
Среднее	16,37	Среднее	45,12

На основе проведенных исследований сделан следующий вывод: для северо-восточной части Таганрогского залива в настоящее время характерна доминирующая роль азота в его эвтрофировании.

В **Заключении** диссертации говорится, что проведена пространственно-временная геоэкологическая оценка состояния трофического статуса вод северо-восточной части Таганрогского залива, как мелководного пресного водоема с низкой скоростью течения, которая включает в себя:

- анализ методов оценки качества воды с позиции эвтрофирования;
- анализ и оценку гидролого-гидрохимических параметров состояния вод залива;
- определение показателя трофности по литературным данным (по методу Л.И. Цветковой);
- построение статистической модели изменения показателя трофности вод залива;
- вычисление общей внешней нагрузки на воды залива и ее компонентов для нитратов, аммония и фосфатов;
- расчет ЭДК и ЭР вод северо-восточной части Таганрогского залива для нитратов, аммония и фосфатов.

Полученные результаты исследований позволяют сделать ряд выводов:

1. Построена статистическая модель определения показателя трофности вод северо-восточной части Таганрогского залива за 2002-2015гг. Рассчитан показатель трофности вод акватории как по известной методике, так и с использованием статистической модели. Определено, что северо-восточный район Таганрогского залива относится к мезотрофному типу, отдельные части которого переходят в эвтрофное состояние. По исследуемому водному объекту уровень эвтрофирования вод неравномерен.
2. Эвтрофирование вод северо-восточной части Таганрогского залива в наибольшей степени зависит от температуры воды, содержания нитратов, солености, концентрации аммоний иона и фосфатов.
3. Основными источниками поступления фосфатов, аммоний иона и нитратов в северо-восточную часть Таганрогского залива являются речной сток и сточные воды.
4. Экологически допустимые концентрации составили: для нитратов – 0,129 мг/дм³, для аммоний иона – 0,153 мг/дм³, для фосфатов – 0,110 мг/дм³.
5. Экологический резерв северо-восточной части залива истощен. При существующей в современных условиях нагрузке экосистема залива не в состоянии самостоятельно справиться с тем количеством биогенных веществ, которые в нее поступают. Большая нагрузка биогенов приводит к увеличению трофности залива и истощению его экологического резерва.
6. В настоящее время в эвтрофировании северо-восточной части Таганрогского залива доминирующая роль принадлежит азоту.

Основные опубликованные работы

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

Статьи в журналах из списка ВАК:

1. Жидкова А.Ю. Современные исследования трофического статуса вод Таганрогского залива Азовского моря // А.Ю. Жидкова // Мониторинг. Наука и технологии. – Махачкала. – 2016. – № 3. – с. 6-8.

2. Гусева (Жидкова) А.Ю. Расчет экологически допустимых концентраций биогенов в Таганрогском заливе Азовского моря на основе разработанной модели эвтрофирования // Известия Южного Федерального Университета. Технические науки / Технологический ин-т ЮФУ, Таганрог. – Таганрог, 2013. – №9 (146). – с. 240-245.
3. Петров В.В., Гусакова Н.В., Воробьев Д.М., Гусева (Жидкова) А.Ю. Обеспечение функционирования городской системы экологического мониторинга данных по обращению с отходами производства и потребления в г. Таганроге // Инженерный вестник Дона. – Ростов-на-Дону, 2012. – т. 23, № 4-2. – с. 9.
4. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В., Петров В.В. Экспериментальные исследования эвтрофирования водоема в системе экологической безопасности региона // Известия Южного Федерального Университета. Технические науки / Технологический ин-т ЮФУ. – Таганрог. –2014. – № 9. – с. 254-259.
5. Жидкова А.Ю., Гусакова Н.В., Петров В.В. Выявление лимитирующего эвтрофирование элемента в водной экосистеме // Auditorium, 24.11.2015. URL: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/008-010.pdf>. Дата обращения: 15.12.2015.

Статьи в других изданиях (Scopus):

1. Gusakova N.V., Guseva (Zhidkova) A. Yu. Development of the model for determining of the trophic status of shallow-water reservoir // Advanced Materials Research Vols. 838-841 (2014) pp. 2578-2581. URL: www.scientific.net/AMR.838-841.2578. Дата обращения: 15.04.2015.

Тезисы конференций и статьи РИНЦ:

1. Жидкова А.Ю. Определение внешней нагрузки азота и фосфора на воды Таганрогского залива // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности», Ростов-на-Дону, 2017. – с. 98-100.
2. Жидкова А.Ю., Петров В.В. Экологическая характеристика гидрохимических параметров Таганрогского залива // Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (14 декабря 2015 г., г. Стерлитамак). / в 2 ч. Ч.2 - Стерлитамак: РИЦ АМИ. – 2015. – с. 22-27.
3. Жидкова А.Ю., Гусакова Н.В., Петров В.В. Анализ современных исследований азовского моря и процессов эвтрофирования // Международное научное периодическое издание по итогам Межд.

- научно-практической конференции (14 ноября 2015 г., г. Стерлитамак). /в 3 ч. Ч.3 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. – с. 29-35.
4. Жидкова А.Ю., Свирипова М.С. Оценка биогенных и гидрохимических параметров состояния вод Таганрогского залива Азовского моря // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых «Техносфера XXI века» (г. Севастополь, 24-28 мая 2016 г.) / Севастополь: СевГУ, 2016. – с. 48-50.
 5. Жидкова А.Ю., Свирипова М.С. Оценка экологического риска и разработка комплекса мер по управлению климатическими рисками для акватории Таганрогского залива Азовского моря // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности». Естественные науки. Таганрог, 2016. – с. 204-208.
 6. Жидкова А.Ю. Оценка трофического состояния Таганрогского залива на современном этапе // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности». Естественные науки. Таганрог, 2016. – с. 208-210.
 7. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В. Мониторинг трофического состояния вод Таганрогского залива / Сборник статей «О состоянии окружающей среды г. Таганрога в 2010г.». – Таганрог. – 2011.
 8. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В. Оценка трофического состояния Таганрогского залива/ Материалы докладов VII Международной XVIII Традиционной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Плахотника В.Н. «Экологический интеллект – 2012». – Днепропетровск. – 2012.
 9. Гусева (Жидкова) А.Ю. Оценка современного трофического статуса вод Таганрогского залива/ Сборник научных работ «Студент и научно-технический прогресс». – Ростов-на-Дону. – 2012. – с. 178-180.
 10. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В. Оценка экологически допустимых концентраций и экологического резерва Таганрогского залива Азовского моря/ Сборник материалов докладов VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора Плахоткина В.Н. «Экологический интеллект – 2013». – Днепропетровск. – 2013.
 11. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В. Определение экологически допустимых концентраций и экологического резерва биогенных веществ в Таганрогском заливе Азовского моря на основе модели трофности/ Труды XVII Международного форума по проблемам науки, техники и

образования. Под редакцией В.А. Малинникова, В.В. Вишневого – М.: Академия наук о Земле. – 2013.

12. Гусева (Жидкова) А.Ю., Гусакова Н.В. Оценка качества вод района VIIа Таганрогского залива по критерию трофности (определение экологически допустимых концентраций биогенов и экологического резерва водоема) // Материалы Региональной студенческой конференции «Фестиваль недели науки Юга России». – т.1. – ЮФУ. – 2013. – 698с.

На основании исследований, проводимых при написании данной работы, автором выигран грант **РФФИ** «Конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант)» номер 16-35-00420: «Разработка модели эвтрофирования вод Таганрогского залива Азовского моря и оценка его экологического состояния».

На основании исследований, проводимых при написании данной работы, получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016660348 «Модуль для оценки экологического состояния водоема с позиции теории трофности» Бедная Т.А., Жидкова А.Ю., 2016 г.

Жидкова Елена Юрьевна

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Автореферат

Подписано в печать: 10.10.2017

Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Формат 60×84/16. Объем 1.0 уч.-изд.-л.

Заказ № 1025. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «МБВ»
347900, г. Таганрог, ул. Петровская, д. 93
Тел.: 8-(8634)-312-432