

*На правах рукописи*



Глинка Вадим Васильевич

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ  
ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении  
«Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский  
водохозяйственный центр» (ФГБУ РосИНИВХЦ).

Научный руководитель: **Беспалова Людмила Александровна** доктор географических наук, доцент; ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, профессор кафедры океанологии.

Официальные оппоненты: **Макаров Константин Николаевич** доктор технических наук, профессор; ФБГОУ Сочинский государственный университет, заведующий кафедрой «Строительство»;

**Крыленко Вячеслав Владимирович** кандидат географических наук; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Южное отделение), Старший научный сотрудник.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Защита состоится «11» ноября 2022 года в 14 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» по адресу: 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, д. 22.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т. Х.А. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) З.Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovnet@mail.ru; тел./факс 8(8712)223607.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: [https://gstou.ru/science/dissertation\\_council/](https://gstou.ru/science/dissertation_council/), [vak.minobrnauki.gov.ru](http://vak.minobrnauki.gov.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
99.0.075.03 (Д 999.228.03)  
кандидат географических наук



З.Ш. Гагаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Своевременное выявление опасных природно-антропогенных (ПА) процессов в водоохранных зонах (ВЗ), а также нарушений режима их использования имеет важное значение для принятия мер по блокированию и минимизации негативных изменений и их последствий в состоянии ВЗ. Учитывая большую протяженность и разнообразие природных условий побережья Цимлянского водохранилища, осуществлять регулярные наблюдения (мониторинг) за состоянием и соблюдением режима ВЗ традиционными методами наземных обследований довольно сложно.

Существенно расширить возможности осуществления мониторинга ВЗ крупных водных объектов возможно за счет более широкого использования для наблюдения беспилотных летательных аппаратов (БЛА), а для накопления, систематизации и анализа полученной информации – ГИС-технологий.

**Целью** данной работы является геоэкологическая оценка ВЗ Цимлянского водохранилища на основе данных дистанционного зондирования земли с применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

**Объект исследования** – водоохранная зона Цимлянского водохранилища.

**Предмет исследования** – мониторинг береговых и эрозионных процессов, антропогенной нагрузки и антропогенного давления, геоэкологическое районирование ВЗ.

**Соответствие диссертационного исследования паспорту специальности.**

Тема научной работы соответствует паспорту специальности 1.6.21 – «Геоэкология». В связи с изучением и оценкой состояния процессов, происходящих на объекте исследования, а также применению современных методов картирования, исследование по данной тематике полностью отвечает следующим пунктам паспорта специальности:

9. Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений.

14. Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды.

16. Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов. Современные методы геоэкологического картирования, ГИС-технологии и информационные системы в геоэкологии.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. На основе съемок с БЛА создана база данных в виде тематических электронных таблиц и ГИС-карт, отражающих современное состояние природно-антропогенных процессов ВЗ Цимлянского водохранилища.

2. Выполнен детальный анализ существующей Схемы типов берегов, разработанной институтом Южгипроводхоза (1982 г.) и внесены существенные уточнения и дополнения (на 60 % береговой линии) в указанную Схему на основе съемок с БЛА, полученных с 2017 по 2021 г.

3. Проведена оценка на основе съемок с БЛА опасных береговых и эрозионных процессов и выполнено районирование ВЗ по интенсивности их проявления с применением ГИС-технологий.

4. Исследовано антропогенное воздействие на ВЗ Цимлянского водохранилища, включающее в себя антропогенную нагрузку и антропогенное давление. Проведено районирование ВЗ по этим показателям.

5. Выполнена комплексная геоэкологическая оценка ВЗ Цимлянского водохранилища с учетом проявления опасных природных и антропогенных воздействий.

#### **Практическая значимость.**

Результаты исследования являются составной частью отчетов «Федерального агентства водных ресурсов».

Наименование темы: «Разработка инструктивно-методических материалов по созданию на базе беспилотных летательных аппаратов и ГИС-технологий программно-аппаратных комплексов для проведения мониторинга состояния берегов и водоохранных зон Цимлянского водохранилища», выполняемой в соответствии с планом работ по обеспечению ведения государственного водного реестра, функционирования автоматизированных информационных систем и программных информационно-аналитических комплексов в системе Росводресурсов, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и информационных работ.

Материалы и методы частично используются при мониторинговых исследованиях, для разработки рекомендаций по рациональному природопользованию, могут служить информационной базой для принятия стратегических решений развития хозяйственной деятельности органами отраслевого, местного и регионального управления, а также при чтении лекций в Южном федеральном университете.

#### **Достоверность результатов.**

В ходе выполнения исследования применялись обширные картографические, полевые и фондовые материалы. При отработке методики мониторинга за состоянием ВЗ Цимлянского водохранилища были использованы возможности цифровой фотограмметрической системы Agisoft Metashape Professional 1.6. Построение картосхем производилось в ГИС-среде (табл. 1) ArcGIS 10.0.

Таблица 1 – Общий объем исследований

№	Виды работ	Количество
1	Протяженность обследований с помощью БЛА	Более 1100 км береговой линии
2	Экспедиционные работы при помощи БЛА	1000 полетов
3	Обработка и анализ фотографий	~350000 шт.
4	Создание ортофотопланов	300 шт.
5	Создание картосхем	25 шт.
6	Создание схем профилей	370 шт.
7	Координатные точки, где проводились профиля	217 шт.
8	Создание и изучение «ячеек»	673 шт.
9	Обнаружение антропогенных объектов в ВЗ	620 шт.
10	Выделение оврагов и изучение их морфологического и морфометрического строения	2733 шт.

#### **Исходные материалы и личный вклад автора.**

В основу исследования положены материалы полевых и камеральных исследований, выполненных автором в составе работ отдела НИР и ОКР по восстановлению и охране водных объектов ФГБУ РосИНИВХЦ, многолетние фондовые данные ФГБУ УВРЦВ, Института Гидропроект, ФГУП РосНИИВХа, института Южгипроразводхоз, ВО «Союзводпроект», ФГБУ РосИНИВХЦ и ряда других организаций, использованы многочисленные литературные источники.

В период полевых исследований использовались стандартные методы, применяемые в геоморфологии, геологии, выполнялось наземное фотографирование и фотосъемка с помощью БЛА. Произведена обработка материалов экспедиционных исследований, построены ортофотопланы, цифровые модели местности, на основе материалов была создана база данных в виде электронных таблиц, ГИС-карт, видео и фотоматериалов с БЛА.

В процессе работы над диссертацией на основе съемок с БЛА, проводимых с 2017 по 2021 гг., была уточнена и существенно дополнена существующая Схема типов берегов, разработанная институтом Южгипроразводхоз (1982 г.), и оценена скорость абразионных процессов. Автором выполнена оценка эрозионной расчлененность ВЗ и определена антропогенная нагрузка и антропогенное давление на основе статистических и фондовых материалов. Комплексный характер исследований определил необходимость применения методов, используемых в геоэкологии, геоморфологии морских берегов (экспедиционные, картографические, экспериментальные, расчетные), статистические методы обработки информации, сравнительно-географический и балльных оценок, ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования Земли.

#### **Апробация работы и публикации.**

По теме научного исследования опубликовано 8 печатных работ, из них четыре опубликованы в ведущих рецензированных изданиях: «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион» (две работы); «Известия Дагестанского

государственного педагогического университета) (одна работа); «Наука Юга России» (Т.18 №1, 2022) (одна работа).

Основные положения и результаты исследований докладывались на:

1) конференции «Системный подход к рациональному природопользованию регионов России», 10-13 декабря 2019 года, филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Туапсе, Краснодарский край);

2) конференции «Водохранилища Российской Федерации: Современные экологические проблемы, состояния, управление», 23-29 сентября 2019 года (г. Сочи);

3) международной конференции «Закономерности формирования и воздействия опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (Опасные явления II)», 6-10 июля 2020 года (г. Ростов-на Дону);

4) Всероссийской конференции с международным участием «XXIX Береговая конференция: натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования», 18-24 апреля 2022 года (г. Калининград).

#### **Основные защищаемые положения:**

1. «Уточненная Схема» типов берегов Цимлянского Водохранилища, дополнена классификация берегов водохранилища с уточнением границы типов и подтипов на всем протяжении береговой линии, с применением съемок с беспилотных летательных аппаратов.

2. Методика оценки эрозионной расчлененности водоохранной зоны Цимлянского водохранилища и ранжирование водоохранной зоны по комплексу показателей на основе съемок с БЛА и ГИС.

3. В пределах исследованной ВЗ Цимлянского водохранилища наибольшую долю занимают территории с низким проявлением антропогенной нагрузки 75,3 %, на среднюю приходится 19,2 %, на высокую – 5,6 %.

4. Геоэкологическая оценка и ранжирование территории ВЗ по комплексу показателей: интенсивность проявления опасных береговых процессов, эрозионной расчлененности, антропогенной нагрузки и антропогенного давления. Так, на долю с высоким проявлением природно-антропогенных процессов приходится 13 % исследованной водоохранной зоны, средним – 32 %, низким – 55 %.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 191 страницу. Текст сопровождается 96 рисунками и 35 таблицами. Список исследованной литературы включает в себя 102 наименования.

**Благодарности.** Автор искренне благодарен директору ФГБУ РосИНВХЦ Косолапову А.Е. за предоставленную возможность работы над диссертацией. Автор выражает глубокую признательность за помощь в работе, ценные советы и рекомендации своему научному руководителю Беспаловой Л.А. и заведующему отделом НИР и ОКР по восстановлению и охране водных объектов ФГБУ РосИНВХЦ Скрипке Г.И. Считаю своим долгом выразить благодарность и признательность Цыганковой А.Е., Ивлиевой О.В., Сапрыгину В.В., которые оказывали помощь на различных этапах подготовки диссертации.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обозначена актуальность темы, представлены цели и задачи диссертационного исследования, раскрывается научная новизна, практическая значимость работы, ее апробация и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Физико-географические условия Цимлянского водохранилища и водоохранной зоны», изучен комплекс природных условий, состоящих из географического положения (Ресурсы поверхностных вод СССР; Новикова Н.М., Волкова Н.А., и др., 2014; Атлас Ростовской области, 2004) изучаемого объекта, его особенности геологии, тектоники рельефа (Беспалова Л.А., Кропянко Л.В., 2009; Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. и др., 2010; Геология СССР. Том XLVI., 1970; Новикова Н.М., Назаренко О.Г., 2014), климатических условий (Панов В.Д, Лурье П.М. и др., 2006), орографической (Панов В.Д, Лурье П.М. и др., 2006), гидрографической сеть, гидрографических условия (Ресурсы поверхностных вод СССР., 1970), ландшафтов (Рыльщикова А.Ю., 2009; Рыльщикова А.Ю., Богачев А.Н., 2004).

**Во второй главе** «Общее представление по использованию современных методов дистанционных обследований и ГИС-технологий» рассмотрен состав программно-аппаратного комплекса (ПАК), состоящий из трех БЛА Phantom 4 Pro, Phantom 4 Advanced и Luftera и их комплектующих для получения фото- и видеоматериалов земной поверхности водоохранной зоны. Представлены виды дистанционных и наземных обследований ВЗ и берегов водохранилища для изучения природных и антропогенных процессов. Наиболее востребованы были фотоматериалы, полученные с вертикальным положением объектива, так как они позволяли создавать цифровую модель рельефа или ортофотопланы ЗП. Реже проводилась съемка берегов под разными углами и видеофиксация интересующих объектов.

Параллельно с полетами БЛА в 2017-2021 гг. проводились наземные обследования с целью определения координат, фотографирования и краткого описания природных и антропогенных объектов.

В главе представлены методы применения программы для обработки фотоматериалов Agisoft PhotoScan (Agisoft Metashape) и возможности построения с ее помощью трехмерной полигональной модели (плотное облако, тайловая модель), карты высот, ортофотоплана (вид территории сверху) (Кушкин А.В., 2015), а также составления фотопланов высоких берегов, преимущественно представленных береговыми уступами (проекция «вид сбоку») (рис. 1-4).



Рисунок 1 – Плотное облако

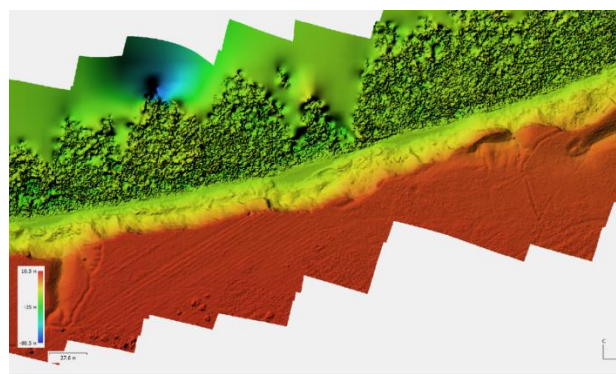


Рисунок 2 – Карта высот



Рисунок 3 – Ортофотоплан



Рисунок 4 – Проекция «вид сбоку»

Помимо визуальной оценки ситуации на участках водоохранной зоны, обследованных с помощью БЛА, и выполнения стандартных процедур, предоставляемых инструментарием ArcGIS и Agisoft Metashape, таких как определение площадей и линейных размеров объектов, расстояний между ними, построения профилей по заданному направлению, проводились работы по оценке возможности использования прошедших компьютерную обработку фотоматериалов для решения ряда прикладных и научных задач:

- выполнение расчета густоты эрозионного расчленения водоохранной зоны;
- производство морфометрических измерений различных орографических элементов;
- определение изменения положения бровки берегового уступа на интервалах между створами регулярных наблюдений, потерь земельного фонда и объема горных пород, отделившихся от коренного берега в результате абразионной деятельности и проявления других ЭГП.

Съемками с БЛА охвачена большая часть ВЗ Цимлянского водохранилища, где имеется разрешение на проведение полетов. Также в связи со спецификой методов исследования и масштабах исследуемого объекта приведенные в данной работе карты-схемы были разделены на участки с характерной нумерацией (рис. 5).



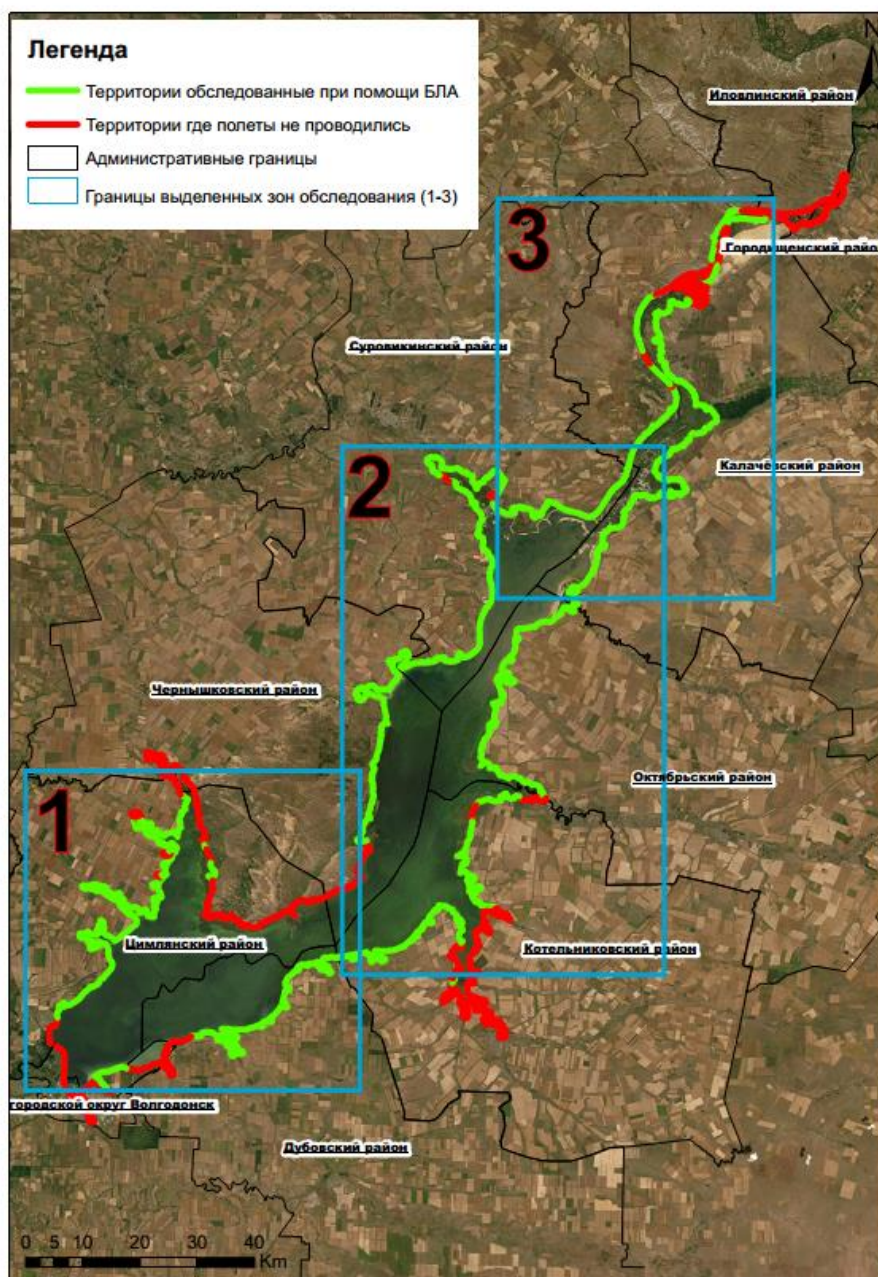


Рисунок 5 – Схема проведенных исследований с выделенными границами зон картографирования исследуемых параметров и выделенной территорией проводимых обследований

В третьей главе «Создание банка данных типов берегов и уточненной Схемы "типы берегов Цимлянского водохранилища" на основе материалов съемок с БЛА» представлены методы уточнения и дополнения Схемы типов берегов Цимлянского водохранилища (1982 г.) на основе использования материалов съемок БЛА для успешного слежения за состоянием ВЗ. Уточнение типов берегов является неотъемлемой частью для дальнейшей геоэкологической оценки берегов Цимлянского водохранилища в пределах ВЗ. В ходе анализа использовались в том числе и космоснимки, в тех случаях, когда требовалась визуальная оценка береговых процессов на участках, где БЛА обследование не проводилось.

В результате были получены морфологические (особенности морфологии каждого типа) и морфометрические характеристики (высота берега, уклон склона (Брауде И.Д., 2002), площадные характеристики для оползневых тел и др. параметры). Эти данные легли в основу создания банка данных типов берегов Цимлянского водохранилища.

В главе представлена инструкция по использованию инструмента визуализации геоморфологических данных и материалов съемок берегового уступа ЦВ для ArcMap со встроенными скриптами, инструмент реализован в виде программной надстройки на языке Visual Basic for Applications.

По имеющимся материалам в главе представлены результаты анализа банка данных типов берегов. Так, по каждому типу и подтипу берегов представлены морфологические и морфометрические характеристики, полученные путем применения методов с использованием БЛА (Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В. и др., 2018; Ивлиева О.В., Беспалова Л.А. и др., 2018; Косолапов А.Е. и др., 2018; Ивлиева О.В. и др. 2018; Глинка В.В., Беспалова Л.А. и др., 2019; Глинка В.В., Беспалова Л.А., 2019; Скрипка Г.И., Глинка В.В., и др. 2020).

По полученным данным был осуществлен сравнительный анализ между имеющейся в ГИС проекте схемой типизации берегов «Южгипроводхоза» (1982 г.) (рис.6) и уточненной Схемой на основе БД типов берегов с БЛА (рис. 7). Результаты сопоставления этих Схем представлены в табл. 2. В результате дообследованы территории на 27 % береговой линии (393 км) и определен их тип берега. Изменения претерпели около 60 % береговой линии.

Согласно уточненной Схеме (2021 г.), построенной в ГИС, берега представлены следующими типами:

- абразионные – 0,7 % (10,4 км);
- абразионно-осыпные – 0,3 % (3,7 км);
- абразионно-оползневые – 1 % (14 км);
- абразионно-обвальные – 7,1 % (101,5 км);
- абразионно-аккумулятивно бухтовые – 13,9 % (198,9 км);
- аккумулятивные – 0,2 % (2,5 км);
- низкий берег затопления – 17,4 % (249,8 км);
- низкий берег затопления (абразионный) – 7,9 % (112,6 км);
- низкий берег затопления (аккумулятивный) – 2,1 % (29,6 км);
- низкий берег затопления (нейтральный) – 28,2 % (404 км);
- техногенный – 2,4 % (34 км);
- эрозионный – 5,5 % (79 км);
- тип не определен (запрет на полеты) – 1,7 % (24,4 км);
- тип не определен (не целесообразно обследование БЛА) – 8,7 % (124,7 км);
- тип берегов не определен (требуется обследование БЛА) – 3 % (43,5 км).

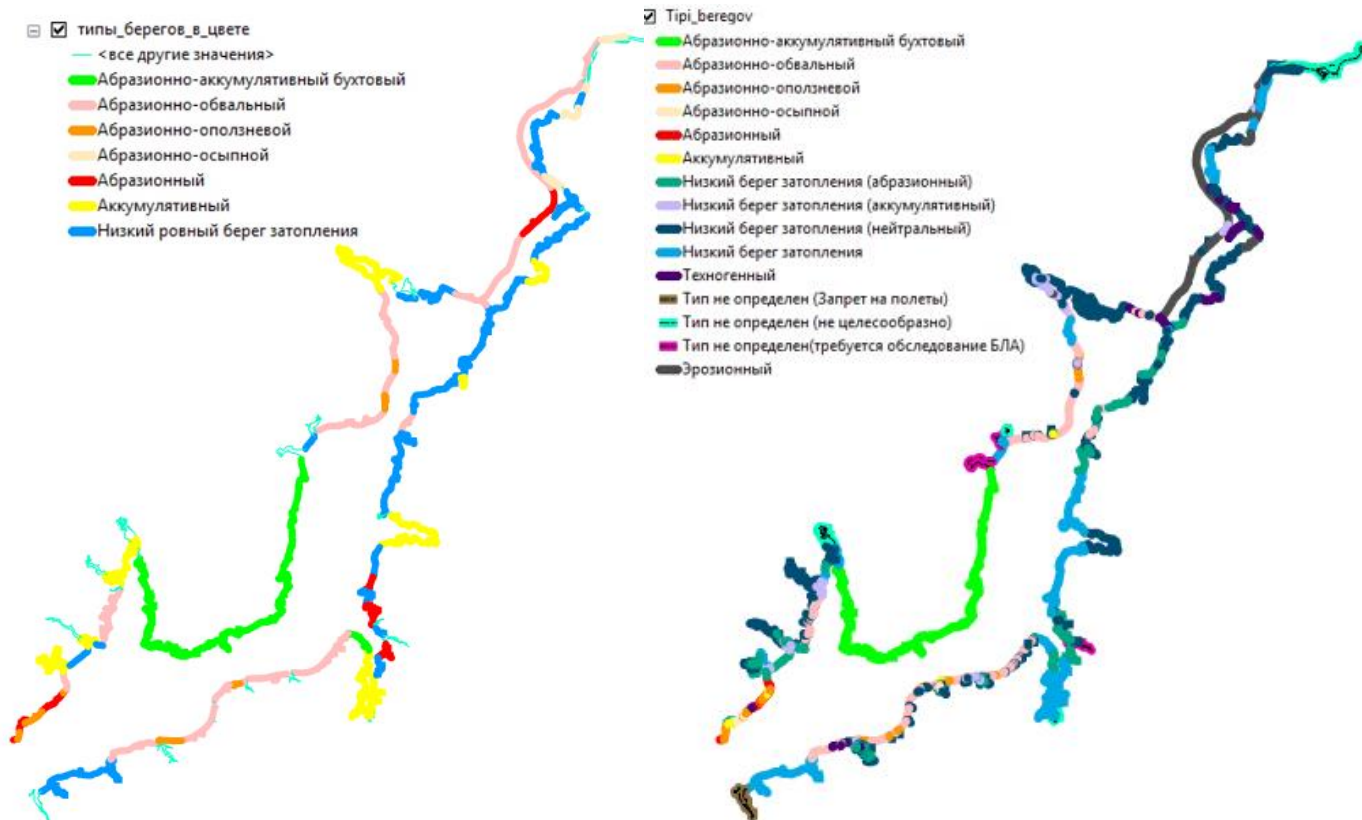


Рисунок 6 – Схема типов берегов на основе Схемы улучшения технического состояния и благоустройства Цимлянского водохранилища и его прибрежной полосы (Южгипроводхоз. – Ростов-на-Дону, 1982)

Рисунок 7 – Схема типов берегов, разработанная на основе базы данных (2021 г.) съемок с БЛА

В данной главе подробно описаны изменения типов берегов, также был добавлен ряд типов берегов, который не фиксировался ранее: такие как подтипы для низких берегов затопления (абразионный, аккумулятивный, нейтральный), эрозионный тип на речном участке в верхней части водохранилища, выделен техногенные типы берега.

Таблица 2 – Сопоставление данных по типам берегов и их протяженность на Схемах Южгипроводхоза (1982 г.) и уточненной (2021 г.)

Схема «Южгипроводхоза» (1982 г.)			Уточненная Схема (2021 г.)		
Тип берега	Протяженность (км)	Процентное соотношение	Тип берега	Протяженность (км)	Процентное соотношение
Абразионный	57,5	4	Абразионный	10,4	0,7
Абразионно-осыпной	29	2	Абразионно-осыпной	3,7	0,3
Абразионно-оползневой	22,5	1,6	Абразионно-оползневой	14	1
Абразионно-обвальный	213,2	14,9	Абразионно-обвальный	101,5	7,1
Абразионно-аккумулятивный бухтовый	206,6	14,4	Абразионно-аккумулятивный бухтовый	198,9	13,9
Аккумулятивный	227,4	15,9	Аккумулятивный	2,5	0,2
Низкий берег затопления	283,3	19,8	Низкий берег затопления (не определенный)	249,8	17,4
Тип не определен (другие значения)	393	27,4	Низкий берег затопления(абразионный)	112,6	7,9
			Низкий берег затопления (аккумулятивный)	29,6	2,1
			Низкий берег затопления (нейтральный)	404	28,2
			Техногенный	34	2,4
			Эрозионный	79	5,5
			Тип берега не определен (запрет на полеты в зонах военных аэродромов и объектов, а также в зоне АЭС)	24,4	1,7
			Тип берега не определен (не целесообразно обследование БЛА, из-за густой растительности в пределах береговой линии и др. факторов)	124,7	8,7
			Тип берега не определен (требуется дообследование при помощи БЛА)	43,5	3,0
Суммарная протяженность берегов	1432,5	100		1432,6	100

В четвертой главе «Оценка опасных экзогенных геологических процессов» изучается интенсивность проявления абразионных процессов за период наблюдения реперной сети с 1953 по 2016 гг. и данные мониторинга с БЛА в 2017-2021 году. Также производится оценка эрозионной расчлененности ВЗ за период наблюдений с 2017 по 2021 год (Косолапов А.Е., Скрипка Г.И. и др., 2017; Косолапов А.Е., Скрипка Г.И. и др., 2017; Скрипка Г.И., Сердюк Л.В. и др., 2020).

В главе описаны методы для получения информации о деформациях берегового уступа, проводились сравнения ортофотопланов береговой зоны водохранилища, построенных по сериям снимков, которые были получены в различные временные интервалы на абразионных берегах.

Показаны возможности съемок с БЛА для оценки изменения положения береговой линии под воздействием шторма в мае 2018 г. Зафиксирован значительный размыв на участках хутор Веселый – станица Нагавская (Котельниковский район); балка Крестовая – Кривское убежище (Дубовский район); участок от западной окраины х. Овчинников до с-з окраины с. Жуковской (Дубовский район); участок берегового обрыва в границах ст. Хорошевской (Цимлянский район). Наблюдалось локально смещение береговой линии более 20 м за 2017-2021 годы.

По результатам наблюдений была и съемок с БЛА составлена схема интенсивности абразионных процессов (рис. 9).

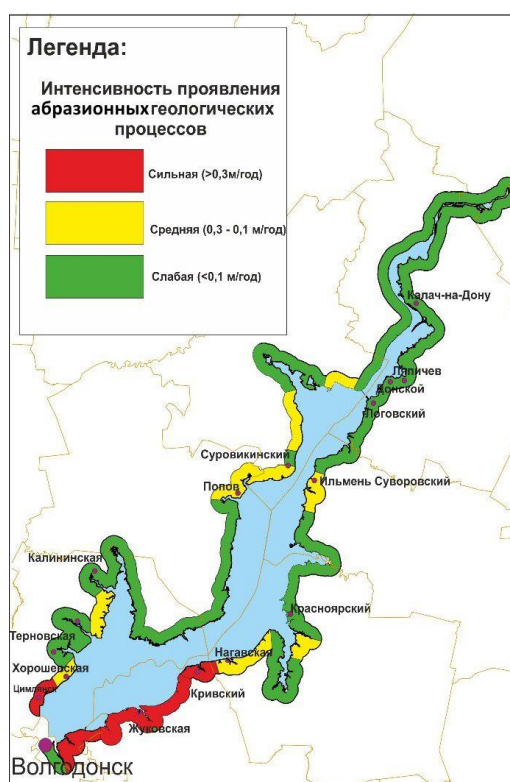


Рисунок 9 – Дополненная Схема интенсивности проявления абразионных процессов Цимлянского водохранилища в современный период (2011-2021 гг.) по данным наблюдений с БЛА

Так, на долю сильно разрушающихся берегов (более 0,3 м/г) приходится 11 % (94,2 км), средняя степень отступления берега (0,3-0,1 м/г) (отмечается на протяжении около

180,6 км (21 %), большая часть берегов 68 % (584,8 км) имеет слабую степень проявления абразионных процессов.

Оценка развития эрозионных процессов в ВЗ Цимлянского водохранилища с использованием показателей горизонтальной и вертикальной расчлененности проводилась на основе съемок с БЛА (Косолапов А.Е. Скрипка Г.И. и др., 2018; Миронова Е.А., 1971., Молодкин П.Ф., 1992. Рожков А.Г., Мясоедов С.С., 1980., Тимофеев Д.А., 1988).

Оценка *горизонтальной расчлененности* территории выполнялась путем расчета комплекса коэффициентов:

- 1) коэффициент расчлененности территории (**I**),
- 2) среднее расстояние между соседними тальвегами эрозионной сети (**a**),
- 3) коэффициент овражности (**P**).

Коэффициент расчлененности территории определяется по формуле:

$$I=L/S,$$

где I – коэффициент расчлененности территории, км/км<sup>2</sup>; L – длина овражно-балочной сети, км; S – площадь, в пределах которой изменяется длина гидрографической сети, км<sup>2</sup>.

Расчет показателя (**a**) горизонтальной эрозионной расчлененности соответствует среднему расстоянию между соседними тальвегами выполнен по формуле:

$$a= S/L$$

где a – среднее расстояние между соседними тальвегами в пределах площади S; L – суммарная длина тальвегов на исследуемой площади.

Коэффициент овражности (**P**) определялся как отношение площади оврагов S (км<sup>2</sup>) к площади участок ВЗ (км<sup>2</sup>), также данный параметр можно измерять в процентах.

Для комплексного расчета параметров горизонтальной расчлененности ВЗ была поделена на так называемые «ячейки», представляющие собой площадные объекты с протяженностью вдоль береговой линии около 1 км (рис. 10-11), в пределах которых и производятся измерения индивидуально для каждой из «ячеек», что позволяет иметь представления о состоянии горизонтальной расчлененности в относительно не больших масштабах интересующего нас участка.

Ранжирование параметров производилось при помощи метода «геометрических интервалов» с учетом экспертной оценки. Геометрический интервал строит границы классов, основываясь на интервалах, имеющих геометрическую последовательность. Алгоритм создает геометрические интервалы путем минимизации суммы квадратов числа элементов в каждом классе.

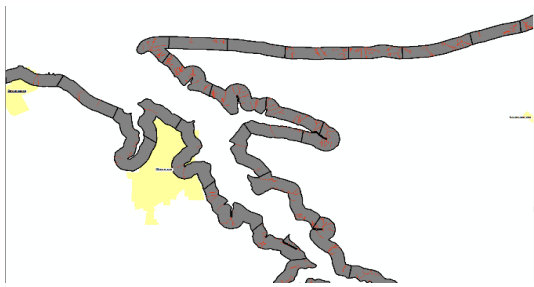


Рисунок 10 – Пример выделенных ячеек, где красным цветом выделены тальвеги оврагов в Жуковском убежище

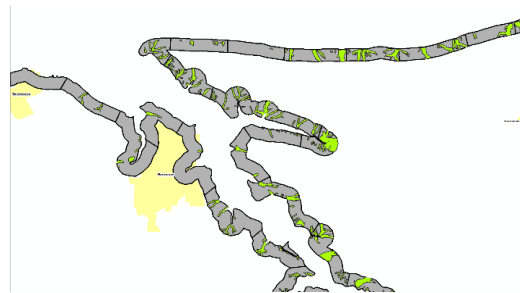


Рисунок 11 – Пример выделенных ячеек, где зеленым цветом выделены площади оврагов в Жуковском убежище

После присвоения каждому из представленных параметров баллов, соответствующих их рангу, была составлена схема и новая шкала ранжирования (табл. 3), объединяющая в себе эти три параметра для оценки горизонтальной расчлененности, которая понадобится при геоэкологической оценке.

Таблица 3 – Шкала ранжирования горизонтальной эрозионной расчлененности

Диапазон (баллы)	Степень	Ранг (равняется присвоенному баллу) для геоэкологической оценки
2 - 3 (балла)	низкая	1
4 - 6 (балла)	средняя	2
7 - 9 (балла)	высокая	3

Так, наибольшая доля исследованных берегов Цимлянского водохранилища подвержена слабой эрозионной расчлененности 43 %, среднему воздействию подвергнуто 37 % берегов, и высокому – 20 %.

Если сравнивать представленные схемы с типами берегов Цимлянского водохранилища, то мы можем заметить, что низкое проявление горизонтальной эрозионной расчлененности приурочено к низким берегам затопления, а на берегах абразионного либо эрозионного типа чаще встречаются средние и высокие показатели эрозионной расчлененности.

На рисунке 12 представлены схемы эрозионной расчлененности ВЗ для верхней (3), средней (2) и нижней (1) частей Цимлянского водохранилища.

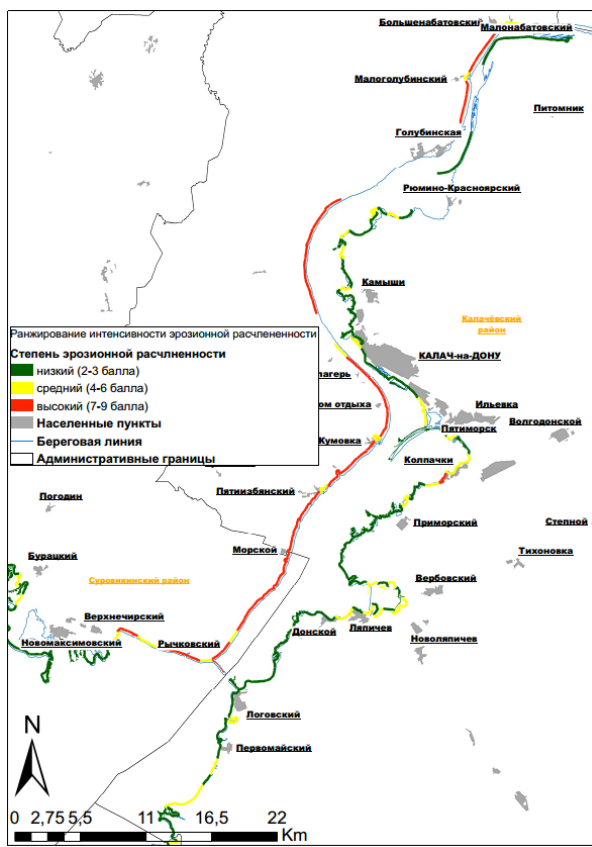
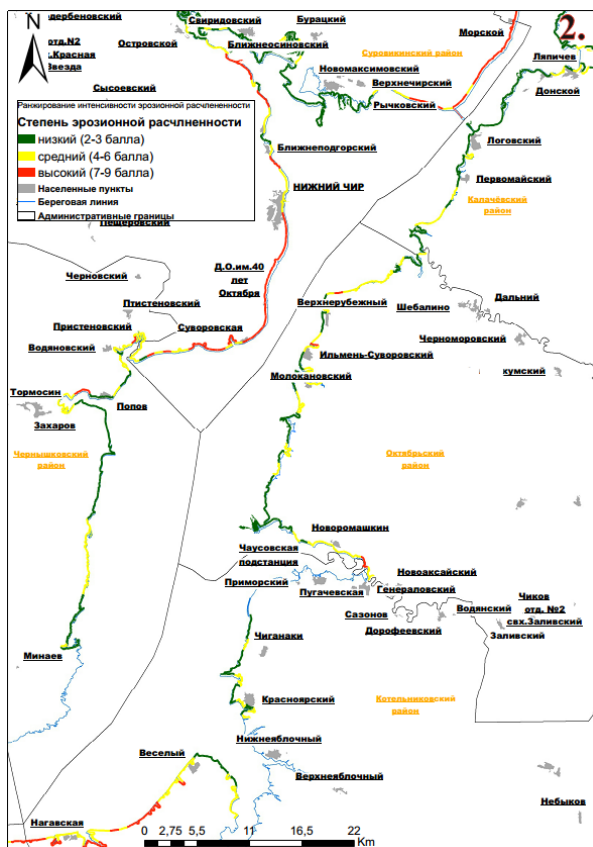
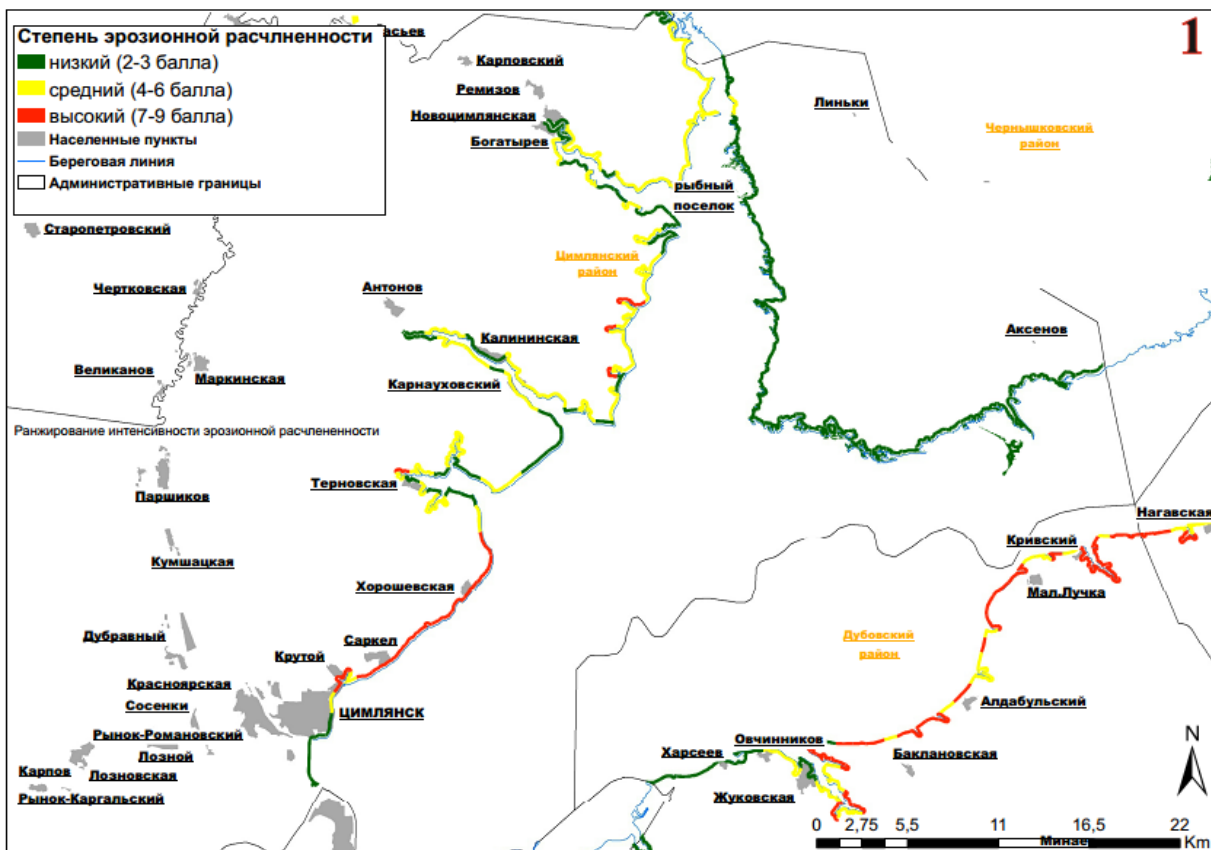


Рисунок 12 – Карта-схема эрозионной расчлененности ВЗ Цимлянского водохранилища, составленная на основе трех параметров горизонтальной расчлененности (I, а, Р)



**В пятой главе** «Антропогенное воздействие на водоохранную зону Цимлянского водохранилища» описаны основные ограничения по деятельности в ВЗ и ПЗП (Сатдаров А.З., 2015; Постановление Правительства РФ от 10.01.2009 № 17; Сиваков Д.О., 2007), хозяйственная деятельность в пределах ВЗ. Представлены результаты и методы оценки антропогенной нагрузки и антропогенного давления на ВЗ с применением ГИС-технологий.

В основе оценки антропогенной нагрузки лежит различие весовых коэффициентов для антропогенных объектов (Коробов В.Б, Тутыгин А.Г., 2010; Закруткин В.Е., Рышков М.М и др., 1999; Коробов В.Б., 2008; Коробов В.Б., 2002), (табл. 4).

Таблица 4 – Ранжирование весовых коэффициентов антропогенных объектов на основе экспертно-статистического метода

<b>Объекты антропогенной нагрузки</b>	<b>Весовые коэффициенты</b>
Хутора, поселения и колхозы	0,6
Города	1
Водозаборы и насосные станции	0,5
Станции (аварийно-спасательные, автозаправочные, лодочные)	0,5
Сбросные каналы сточных вод	1,0
Рыболовецкие станы	0,6
Свалки (более 100 м <sup>2</sup> )	1,0
Свалочные очаги ТБО (менее 100 м <sup>2</sup> )	0,2
Свалочные очаги строительные (менее 100 м <sup>2</sup> )	0,1
Свалочные очаги (менее 100 м <sup>2</sup> )	0,2
Кладбища	0,4
Плотины, дамбы	0,7
Земельные участки, жилые дома	0,6
Порты, причалы,	0,8
Пункты рекреации	0,9
Частное хозяйство	0,8
Промышленные объекты	1,0
Сельскохозяйственные объекты	0,9
Заброшенные/недействующие объекты	0,2
Базы отдыха	0,7

Ранжирование антропогенной нагрузки, как и в случае с эрозийной расчлененностью, производилось при помощи метода «геометрических интервалов» с учетом экспертной оценки (табл. 5).

Таблица 5 – Шкала ранжирование степени антропогенной нагрузки

Диапазон (балл)	Степень	Ранг
<0,5	низкая	1
0,51-3,2	средняя	2
>3,2	высокая	3

В пределах каждой «ячейки» были выделены антропогенные объекты, каждый из которых имеет свой весовой коэффициент (рис. 13), суммарный показатель баллов в каждой из «ячеек» позволяет оценить антропогенную нагрузку индивидуально.



Рисунок 13 – Пример выделения антропогенных объектов на ортофотоплане в пределах «ячейки» в ПО ArcMap 10

Как и в случае с другими факторами природных и антропогенных явлений, антропогенная нагрузка также оценивалась индивидуально для каждой отдельной «ячейки». С применением весовых коэффициентов стало возможным определить степень антропогенной нагрузки на исследуемую ВЗ в баллах (рис. 14).

В целом в пределах исследованной ВЗ наибольшую долю занимают участки с низким проявлением антропогенной нагрузки – 75,3 %, на долю средней приходится 19,2 %, высокой – 5,6 %. Высокие и средние показатели антропогенной нагрузки приурочены к примыкающим к ВЗ населенным пунктам.

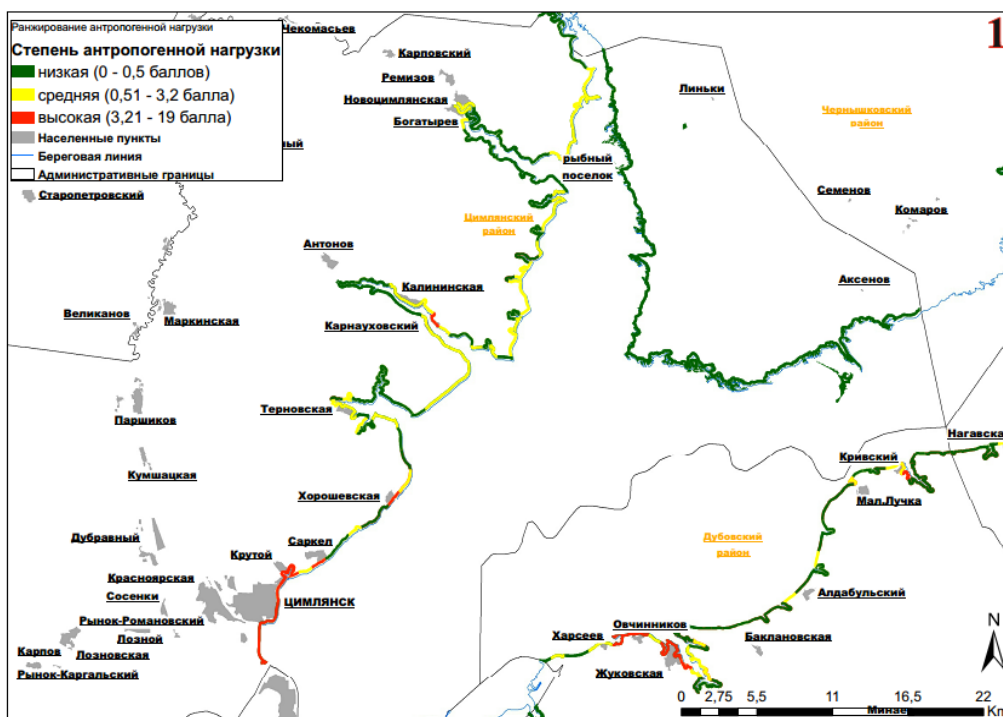


Рисунок 14 – Карта-схема антропогенной нагрузки участка, на примере участка 1

Для оценки антропогенного давления на исследуемой территории вводится коэффициент антропогенного давления (К). Рассчитывается он по формуле (Дмитриев, Фрумин, 2004):

$$\lg K = -0,97 + 0,9 \lg ПН,$$

где ПН – плотность населения чел./км<sup>2</sup>.

Расчет антропогенного давления, как и в случае с антропогенной нагрузкой, производился в пределах каждой индивидуальной «ячейки», в этой связи средние и высокие значения антропогенного давления наблюдались только в пределах населенных пунктов, которые попадали на границы ВЗ.

Максимальный показатель антропогенного давления на исследуемых территориях наблюдался в г. Калач-на-Дону, он составляет 0.77 (К). Высоким антропогенным давлением характеризуется ВЗ в пределах г. Цимлянска и с. Нижний Чир. Характерной особенностью данных населенных пунктов является относительно высокая плотность населения и ее численность, на территории данных населенных пунктов имеются порты, предприятия и зоны отдыха.

**В шестой главе** «Геоэкологическая оценка водоохранной зоны Цимлянского водохранилища» представлена методология комплексных геоэкологических оценок территорий ВЗ. Изучены проявления опасных природно-антропогенных процессов в ВЗ по комплексу показателей с использованием метода бальных оценок и классификаций. Ранжирование производилось при помощи метода «геометрических интервалов». В результате определены участки ВЗ с низким, средним и высоким проявлением природно-антропогенных процессов. На основании всех представленных материалов была создана карта геоэкологической оценки территории ВЗ, состоящая из трех кластеров (рис. 15).

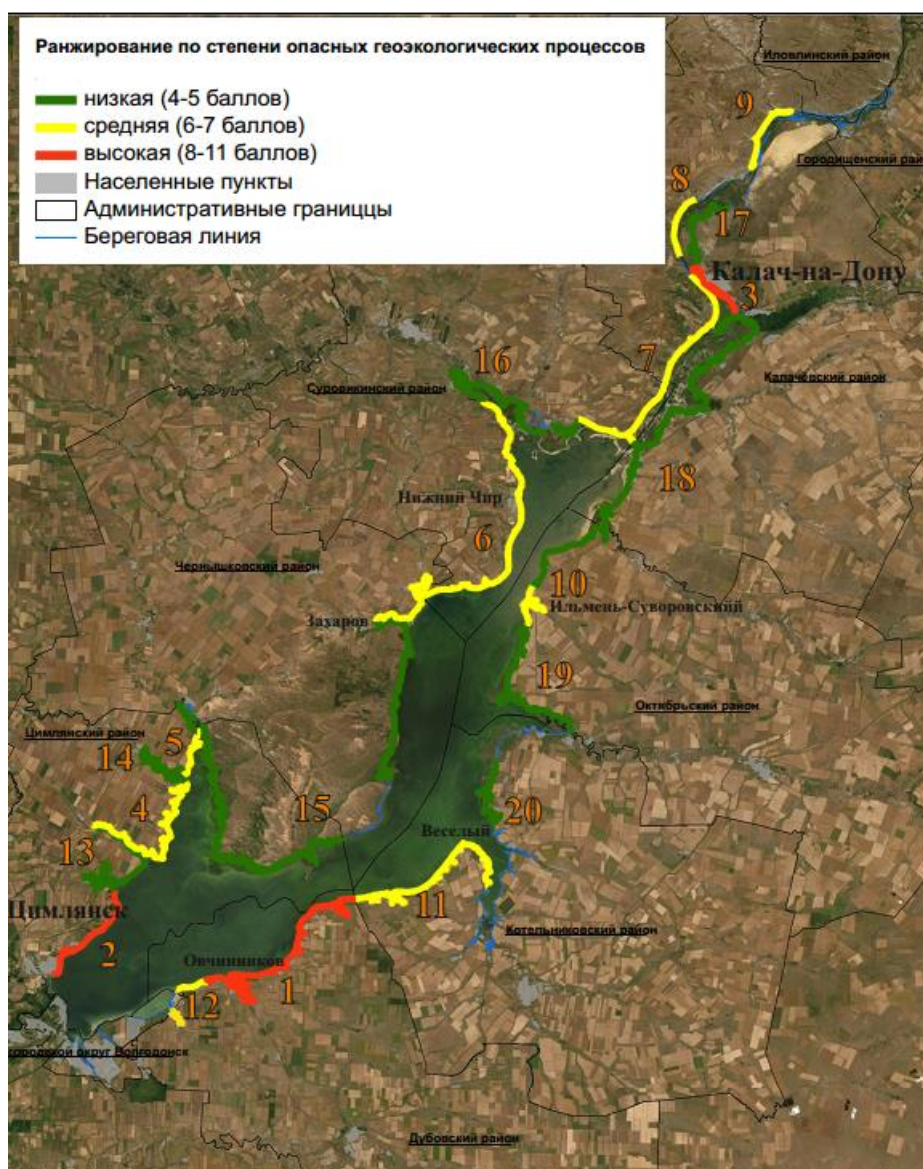


Рисунок 15 – Карта геозкологической оценки водоохранной зоны Цимлянского водохранилища

На долю кластера с высоким проявлением природно-антропогенных процессов приходится 13 % исследованной водоохранной зоны, средним – 32 %, и низким – 55 % (рис. 16).



Рисунок 16 – Интенсивность проявления ПА процессов

Наибольшие проблемы с точки зрения соблюдения режима водоохранной зоны связаны с I кластером.

Географически к нему относятся:

- 1) территория в пределах почти всего Дубовского района от х. Овчинников до границы с Котельниковским районом общей протяженностью 77 км;
- 2) участок от г. Цимлянск до юного входа в Терновской залив, протяженностью 27 км;
- 3) участок, расположенный в пределах г. Калач-на-Дону протяженностью 17 км.

Эти участки характеризуются высокой скоростью абразии и эрозионной расчлененностью территории, высокими и средними показателями антропогенной нагрузки.

Полученные в ходе исследования результаты позволили сформулировать следующие

**ВЫВОДЫ:**

1) Район водохранилища расположен в зоне умеренно-континентального климата. Объект исследования характеризуется очень сложными и неравномерными условиями среды, находящих отличие в формах рельефа, ландшафтах и некоторых гидрологических показателях. Инженерно-геологическое районирование было выполнено в рамках Схемы Южгипроводхоза (1982 г.).

2) Отражены общие представления по использованию современных методов дистанционных обследований и ГИС-технологий для повышения эффективности мониторинга состояния ВЗ водных объектов и соблюдения режима их использования. Изучены возможности применения материалов, полученных с помощью БЛА и наземных обследований, обработанных при помощи ПО Agisoft Metashape 1.6 и ArcGIS 10.0.

3) На основе анализа банка данных типов берегов и полученных морфологических и морфометрических характеристик каждого типа было выявлено разнообразие типов и подтипов берегов, что в дальнейшем позволило выполнить ряд уточнений и дополнений для Схемы 1982 года. Изменения границ типов берегов коснулось 67 участков из 91 (более 60 % береговой линии). По данным материалов съемок с БЛА были

исследованы морфометрические характеристики современных типов берегов Цимлянского водохранилища. Показано разнообразие параметров берегов, относящихся к одному типу. Доказана возможность использования съемок с БЛА для мониторинга берегового рельефа ВЗ.

4) В результате проведенной оценки абразионных процессов было установлено, что современный период характеризуется стабилизацией береговых процессов, исключение составляют приплотинные участки водохранилища, где активность проявления абразионных процессов сохраняется. Особенно сильные изменения наблюдались после прохождения шторма в мае 2018 г, которые также были зафиксированы при помощи БЛА. В плане оценки горизонтальной расчлененности ВЗ высокая степень наблюдается в Цимлянском районе возле х. Крутой, х. Хорошевский. В Суравикинском районе от с. Суворовская до с. Нижний Чир. В Калачевском районе на правом берегу, где были выделены эрозионные берега. Также явно выраженные высокие и средние коэффициенты выделяются на большей территории Дубовского района от с. Жуковская до х. Веселый в Калачевском районе, характерной особенностью является преобладание абразионно-обвальных и абразионно-оползневых процессов на выделенных берегах.

5) На основе анализа антропогенного воздействия на ВЗ Цимлянского водохранилища было установлено, что максимальный показатель антропогенного давления наблюдался в г. Калач-на-Дону и составлял 0.77 (К). Берега в пределах водоохранной зоны с высоким антропогенным давлением наблюдаются также в пределах г. Цимлянск и с. Нижний Чир. Характерной особенностью данных населенных пунктов является относительно высокая плотность населения и ее численность, на территории данных населенных пунктов имеются порты, предприятия и зоны отдыха. В плане оценки антропогенной нагрузки наибольшее воздействие приурочено к ВЗ в крупных городах и селах. В частности, на правом берегу к ВЗ в пределах населенных пунктов, подверженных сильному антропогенному воздействию, можно отнести г. Цимлянск и расположенный рядом с ним х. Крутой, в пределах ВЗ которого было выявлено более 40 свалочных очагов. Также к поселкам, в пределах которых наблюдается наибольшая антропогенная нагрузка на ВЗ можно отнести: х. Саркел, с. Хрошевская, с. Калининская, с. Нижний Чир, х. Попов, с. Голубинская. Помимо свалок в пределах ВЗ хуторов встречаются рыболовецкие станы, кладбища, зоны рекреации и базы отдыха и т.д., что оказывает колоссальное влияние на степень антропогенной нагрузки в пределах ВЗ. На правом берегу в пределах г. Калач-на-Дону мы наблюдаем максимальное значение антропогенной нагрузки 19 баллов. В первую очередь это вызвано тем, что в пределах ВЗ находится большое количество предприятий, портов и земельных участков, также применение БЛА позволяет фиксировать нарушения в пределах ВЗ (выпас скота, распашки в пределах ПЗП). Высокая степень антропогенной нагрузки наблюдается также в х. Красноярский, х. Кривский, с. Жуковская и с. Овчинников.

6) Путем анализа эрозионной расчлененности, интенсивности абразии, антропогенного давления и антропогенной нагрузки выполнены исследования по геоэкологической оценке Цимлянского водохранилища и создание базы данных в виде электронных таблиц и ГИС-карт. Так, водоохранная зона, состоящая из 673 «ячеек», была ранжирована на участки с высокой, средней и низкой степенью проявления природно-антропогенных процессов, путем объединения этих ячеек по бальным показателям. На

участке с низким проявлением природно-антропогенных процессов (4-5 баллов), средним (6-7), высоким (8-11). Ранжирование производилось при помощи метода «геометрических интервалов» с учетом экспертной оценки. Для удобства восприятия из представленных «ячеек» была составлена общая карта, состоящая из трех кластеров (включающие в себя 20 участков, которые состоят из объединенных «ячеек» с общими признаками), где в глобальном масштабе отражены степени проявления ПА процессов. На долю с высоким проявлением ПА процессов приходится 13 % исследованной ВЗ, средним – 32 %, низким – 55 %. Наибольший интерес представляет I кластер с высоким проявлением ПА процессов. Так, к нему можно отнести:

1) территорию в пределах почти всего Дубовского района от х. Овчинников до границы с Котельниковским районом общей протяженностью 77 км;

2) участок от г. Цимлянск до юного входа в Терновской залив протяженностью 27 км;

3) участок, расположенный в пределах г. Калач-на-Дону, протяженностью 17 км.

В работе представлены и другие материалы: матрица Мак-Кинси по бальным показателям антропогенных и природных факторов в пределах «ячеек»; таблица доли проявления опасных ПА процессов и их факторов в ВЗ исследованных районов. На основе разработанной схемы геоэкологической оценки водоохранной зоны сформулированы основные рекомендации по улучшению геоэкологического состояния исследуемой территории.

## Список работ, опубликованных по теме научного исследования

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК; в изданиях, включенных в БД Web of Science, SCOPUS:

1. Косолапов, А.Е. Оценка горизонтальной и вертикальной эрозионной расчлененности водоохранной зоны Цимлянского водохранилища (на примере Дубовского района) [Текст] / А.Е. Косолапов, Г.И. Скрипка, Л.А. Беспалова, **В.В. Глинка**, О.В. Ивлиева, В.В. Сапрыгин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. – 2021. – Т1. – С. 81-88.

2. Ивлиева, О.В. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки интенсивности проявления опасных береговых процессов водоохранной зоны Цимлянского водохранилища / О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова, **В.В. Глинка**, Л.В. Сердюк., А.А. Чмыхов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. – 2021. – Т2. – С. 56-65.

3. Косолапов, А.Е. Классификация берегов Цимлянского водохранилища на основе данных беспилотных летательных аппаратов / А.Е. Косолапов, Г.И. Скрипка, Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева, **В.В. Глинка** // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2020. – Т. 14. – № 1. – С. 92-99. – DOI 10.31161/1995-0675-2020-14-1-92-99.

4. **Глинка, В.В.** Геоэкологическая оценка водоохранной зоны Цимлянского водохранилища / В.В. Глинка, Л.А. Беспалова // Наука Юга России. – 2022. – Т.18. № 1. – С. 46-54. DOI: 10.7868/S25000640220106.

### Прочие публикации:

1) Создание банка данных типов берегов Цимлянского водохранилища на основе материалов мониторинга, выполненного с помощью беспилотных летательных аппаратов / Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева, **В.В. Глинка** // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: Сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. 23-29 сентября 2019 г. – Сочи, 2019. – С. 295.

2) Исследование типов берегов Цимлянского водохранилища с использованием БЛА / **В.В. Глинка**, Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вывозов: Сб. матер. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 157.

3) Изучение типов берегов водохранилищ с использованием беспилотных летательных аппаратов / **В.В. Глинка**, Л.А. Беспалова // Системный подход к рациональному природопользованию регионов России: Сб. матер. науч.-практ. конф. – Туапсе, 2019. – С. 46.

4) Уточнение Схемы типов берегов Цимлянского водохранилища на основе съемок с беспилотных летательных аппаратов / Г.И. Скрипка, **В.В. Глинка**, Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов ("Опасные явления - II"): Сб. трудов науч.-практ. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 298-305.