

Кутузов Алексей Валерьевич

**Геоэкологическая оценка динамики водно-прибрежных экосистем крупных
равнинных водохранилищ
методами ДЗЗ**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург
2023

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Реки водосборных бассейнов Волги и Дона зарегулированы множеством плотин. Здесь проживает более 50% населения России. Крупнейшим направлением в получении возобновляемых ресурсов: питьевое и сельскохозяйственное водоснабжение, энергетика, транспортное судоходство, рыболовство и другие является создание водохранилищ и строительство соответствующих гидротехнических сооружений. В рамках этого направления важнейшее значение приобретает проблема определения границ влияния водохранилища на побережье и режим затопления территорий этим природно-техногенным объектом, уровень воды в котором определяется требованиями разных водопользователей.

Воздействие водохранилищ на природную среду прилегающих ландшафтов изучается с научной и практической точки зрения уже более 70 лет. Дарвинский заповедник на Рыбинском водохранилище специально создавался (1945 г.) для изучения влияния этого водоёма на побережье. Для большинства научно-теоретических работ, посвящённых влиянию водохранилищ на прилегающие ландшафты, характерна генерализованная, обобщенная оценка их воздействия на окружающую среду. Измерения физических параметров (температура, влажность, уровни воды и другие), как правило, носят традиционный точечный характер с усредняющей экстраполяцией на всю мозаично организованную территорию. Такое усреднение не даёт возможности оценивать конкретные участки этой территории.

Подробная типологизация участков всей мозаики ландшафтов побережья позволяет использовать данные точечных измерений физических параметров и экстраполировать их на однотипные участки территории, а также может служить основой для рекомендаций по выбору мест проведения таких измерений. Однако научные исследования, где приводится подробная типология побережья по границам затопления и подтопления – редки, а основания для определения типов участков достаточно произвольны. В данной работе использованы «площадные измерения» на основе спутниковых данных высокого уровня детализации и соответствующая цифровая модель рельефа (ЦМР) для геоэкологической оценки территорий.

Научно-техническая задача. В работе формулируется и решается важная научная задача, имеющая существенное значение для рационального использования водных и земельных ресурсов страны: разработка научных основ оценки состояния, изменений и управления современными околосоводными ландшафтами – «вода-суша» на основе применения современных данных дистанционного зондирования Земли.

Объект исследования. Объектом исследования является побережье и прибрежная акватория крупных равнинных водохранилищ и соответствующие данные дистанционного зондирования Земли.

Предмет исследования. Предметом исследования являются геоэкологические характеристики границ переходных ландшафтов «вода-суша» и способы обработки данных о пространственном положении зоны взаимодействия экосистем побережья и акватории.

Цель и задачи исследования. Цель – выявить закономерности формирования структуры и динамики ландшафтов переходной зоны «вода-суша» для побережий крупных равнинных

водохранилищ, в зависимости от уровня режима водохранилищ и от гидрогеологии побережья, на основе данных дистанционного зондирования Земли и полевых исследований.

Исходя из поставленной цели, сформулированы следующие **задачи**.

1. Определить направленность многолетних трендов водности Рыбинского (лесная природная зона) и Цимлянского (степная природная зона) водохранилищ.
2. Установить основные показатели уровня режима определяющие ландшафт побережья и границы блоков переходных ландшафтов «вода-суша».
3. Определить минимальный временной интервал наблюдений для характеристики влияния на биокомпоненты ландшафта.
4. Установить масштабы влияния уровня режима на формирование центральных и сухопутных блоков переходных ландшафтов.
5. Предложить и применить на практике критерии выделения границ блоков в переходных ландшафтах побережий, на основе комплексного экологического подхода.
6. Разработать алгоритм обработки данных ДЗЗ для картирования ландшафтов исследуемых водохранилищ.

Научная новизна исследований

1. Впервые получены картосхемы, где определена площадь и географические границы современной системы переходных ландшафтов центрального блока «вода-суша» Рыбинского и Цимлянского водохранилища. Эта часть ландшафтов расположена в зоне временного затопления и находится ниже НПУ водохранилища. Сухопутные блоки системы переходных ландшафтов расположены выше НПУ и занимают более 50% от площади водоёма.
2. Впервые обоснованы и применены критерии для выделения блоков переходных ландшафтов «вода-суша» для зоны побережий крупных равнинных водохранилищ на основе данных по ландшафту и его биокомпоненте. Сформулированы признаки блоков переходных ландшафтов «вода-суша» и определены показатели ведущих факторов функционирования и воздействия крупных водохранилищ на прибрежные ландшафты: показатели уровня режима водохранилища и ряд гидрологических характеристик побережья.
3. Усовершенствованы известные полевые (контактные) и разработаны новые дистанционные методы выявления границ для поясов влияния крупных равнинных водохранилищ на систему переходных ландшафтов побережья. Это методы, основанные на данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и данных комплексного анализа экологических условий прибрежных ландшафтов: биотических и абиотических факторов.
4. Созданы цифровые карты в географической информационной системе (ГИС) для переходных ландшафтов акватории и побережий, определены пространственные границы основных блоков переходных ландшафтов «вода-суша».

Теоретическая значимость работы. Сформулированы признаки блоков переходных ландшафтов «вода-суша», обоснованы и применены критерии их выделения для зоны побережий крупных равнинных водохранилищ. Раскрыты ведущие факторы воздействия водохранилищ: показатели уровня режима водохранилища и ряд гидрологических характеристик побережья.

Изложена новая экспериментальная методика обработки данных ДЗЗ в сочетании с материалами полевых изысканий, позволившая выявить качественно новые закономерности формирования границ блоков переходных ландшафтов «вода-суша».

Разработан комплекс экспериментальных методик и выявлены факторы гидрологического взаимодействия «вода-суша», которые являются основой при создании информационной модели функционирования зоны контакта для двух экосистем под влиянием водного фактора.

Практическая значимость работы. Разработана методика отбора данных и виды данных, которые позволяют осуществлять крупномасштабное картографирование переходной зоны «вода-суша», с выделением переходных ландшафтов, а также вести мониторинг морфометрических параметров прибрежных ландшафтов, на основе регулярно обновляемых материалов ДЗЗ, в масштабах всего водохранилища.

Разработаны новые методики для принятия научно обоснованных решений по рациональному использованию природных ресурсов водохранилища, примыкающей гидрографической сети и прибрежных ландшафтов. Создан геоинформационный проект – ГИС проект «Акватерра» для побережья водохранилищ на основе полученных пространственных полевых данных и материалов ДЗЗ. Разработанный, в рамках проведённых исследований, ГИС проект «Акватерра» даёт принципиальную возможность оперативного внесения изменений, их анализ и отображение в электронной карте побережья.

Методология и методы исследования. Разработана и применена новая экспериментальная методика обработки данных ДЗЗ в сочетании с материалами полевых изысканий, что позволило выявить границы блоков переходных ландшафтов «вода-суша». На основе этого комплексного методологического подхода разработаны картографические методы для полномасштабного географического исследования Рыбинского (лесная природная зона) и Цимлянского водохранилищ (степная природная зона), созданы методики картирования прибрежных и мелководных ландшафтов. Используются стандартные методы статистического анализа для многолетних рядов данных по уровню Рыбинского и Цимлянского водохранилищ. Разработаны и применены оригинальные биологически значимые характеристики уровня режима водохранилища для определения внутренних границ переходных ландшафтов «вода-суша».

Положения, выносимые на защиту. Динамику ландшафтов побережья определяют три критических показателя: многолетний минимум; ежегодный максимум; многолетний максимум.

Для объективного определения пространственных границ блоков переходных ландшафтов «вода-суша» необходимо использовать комплекс экологических данных, включающих характеристики: 1) рельефа, 2) почв, 3) фитоценозов для разнотипных участков побережья, 4) многолетние данные уровня режима водохранилища и 5) спутниковые данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Картографический подход даёт обоснованную количественную оценку параметров блоков переходного ландшафта на основе ДЗЗ.

Личный вклад автора. Диссертационная работа представляет собой результат экспериментальных полевых исследований и их камеральную обработку, выполненных лично

автором или при его непосредственном участии. Автором определены цели и задачи настоящего исследования, принято участие на всех этапах исследований: в планировании и проведении полевых сборов, обработке, интерпретации полученных данных. Автор лично участвовал в апробации результатов и подготовке основных публикаций по выполненной работе, имена соавторов указаны в публикациях по теме исследования.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования обеспечена большим объемом фактического материала и применением комплекса методов изучения, включающим традиционные методики. Основные результаты работы были представлены на Международных и Всероссийских конференциях, в ряде публикаций, в разделах монографий. По материалам исследований были сделаны доклады на 6 научных мероприятиях: Международное совещание «Териофауна России и сопредельных территорий» (VII съезд Териологического общества) 6 – 7 февраля 2003, Москва; Международная научно-практическая конференция «Состояние, охрана, воспроизводство и устойчивое использование биологических ресурсов внутренних водоёмов» 13 – 17 августа 2007, Волгоград; Международная научная конференция «Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России» 1 – 4 марта 2011, Санкт-Петербург; Международная научно-практическая конференция «Рациональное природопользование: традиции и инновации» 23 – 24 ноября 2012, МГУ Москва; Всероссийская молодежная гидробиологическая конференция «Перспективы и проблемы современной гидробиологии», 10 – 13 ноября 2016, ИБВВ РАН, пос. Борок, Ярославская область; Всероссийская конференция «Волга и ее жизнь» 22 – 26 октября 2018, ИБВВ РАН, Борок, Ярославская область; IX Международной научной конференции по водным макрофитам «Гидрботаника 2020» (17–21 октября 2020 г.). ИБВВ РАН, Борок, Ярославская область.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 27 печатных работы, из них 2 – в коллективной монографии, 6 – в журналах рекомендованных ВАК РФ; 8 статей – в других периодических изданиях, 11 – тезисы и материалы конференций.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, результатов и их обсуждения, заключения, выводов, перечня публикаций по теме диссертации, списка литературы (303 источника, из них 34 на иностранном языке) и приложения. Работа изложена на 185 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка и 36 таблиц.

Основное содержание работы

Глава 1. Переходная зона побережий «вода-суша» как часть водных и наземных экосистем. Обзор литературы.

Первая глава посвящена обзору литературных данных об особом пограничном пространстве переходных ландшафтов для смежных экосистем, особое внимание уделено ландшафтному подходу к описаниям прибрежных ландшафтов «вода-суша». Отмечается вклад многих исследователей в этой области: Clements F.E., Харченко Т.А., Залетаев В.С., Одум Ю., Мордухай-Болтовской Ф.Д., Остроумов С.А., Шилов И.А., Раменский Л.Г., Whittaker R.H.,

Работнова Т.А., Соловьева В.В., Розенберг Г.С., Остроумов С.А., Юргенсон П. Б., Папченков В.Г., Вендров С.Л., Дьяконов К.Н. и другие специалисты.

В выводах Главы 1 отмечается, что, несмотря на достигнутые успехи в изучении переходных ландшафтов смежных экосистем и экотонов, многие теоретические и прикладные вопросы не имеют обоснованного и общепризнанного решения. Ряд актуальных задач изучения мировой сети переходных ландшафтов требующих решения: 1) границы, районирование и картографирование водно-наземных переходных ландшафтов («вода-суша»); 2) прогнозирование изменений в состоянии систем переходных ландшафтов; 3) разработка научных основ мониторинга и управления переходными территориями и экотонными системами. Также отмечается, что представления о структуре водно-наземных переходных ландшафтов нуждаются в дальнейшей теоретической и практической проработке.

Глава 2. Методические основы выделения системы переходных ландшафтов «вода-суша» для внутренних водоёмов. Материалы и методы.

В Главе 2 рассматривается: 1) теоретическая блоковая структура переходных ландшафтов и экотонов как особой пограничной структуры, 2) методы определения внешних и внутренних пространственных и временных границ. В основу разрабатываемой системы переходных ландшафтов легла принципиальная структура экотона «вода-суша» из 5 структурных блоков, на основании различий биологических группировок, их состава и характера динамики. В этой схеме выделяются: 4 наземных блока и 1 водный (Залетаев, 1997): 1) центральный блок – амфибиальный, с инстантной (немедленной) динамикой биокомплексов; 2) блок на суше с флуктуационной динамикой; 3) блок с дистантной (запаздывающей) динамикой, обусловленной изменениями режима грунтовых вод; 4) маргинальный блок с дистантной динамикой, определяемой изменениями биоценологических цепей под влиянием процессов в биоте как в пойме реки, так и на водосборе; 5) аквальный блок с дистантной динамикой водных биокомплексов, определяемой процессами взаимодействия с амфибиальным биокомплексом, выносом веществ с суши и распространением. В целом, придерживаясь приведённой выше теоретической структуры переходной зоны, в дальнейшем мы будем использовать видоизменённую трактовку исходной схемы, проиллюстрированную на снимке – Рисунок 1.

Для выявления на местности теоретически предсказанных блоков, их внутренних границ для конкретного вида переходных ландшафтов «вода-суша» (ЛВС) на равнинных водохранилищах, нами был разработан ряд универсальных критериев для пространственного выражения границ ландшафтов побережий. При максимально возможной сработке уровня воды: от НПУ до УМО – для таких водохранилищ как Рыбинское и Цимлянское, территория покрытая водой уменьшается почти в 2 раза, а объём воды примерно в 1,5-2 раза.

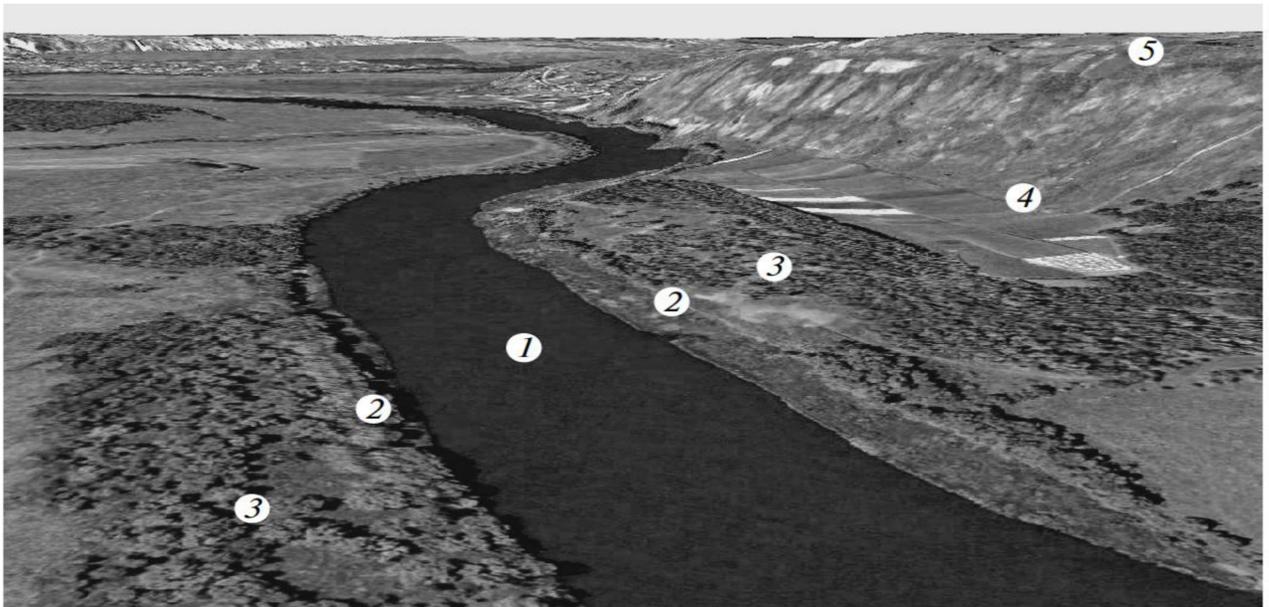


Рисунок 1. – Структура блоков переходных ландшафтов «вода-суша» речной долины: 1 — аквальный, 2 — флуктуационный (амфибиальный), 3 — динамический, 4— дистантный, 5— маргинальный. Основа: спутниковый снимок в Google Планета Земля [4].

2.1. Контактные методы (картографические, ландшафтные полевые исследования)

Ведущий подход в наших полевых исследованиях представляет собой расширенный и усовершенствованный метод «топо-экологического профилирования» – сбор данных разных типов: экологические (гидрогеологические, почвенно-геоботанические, микроклиматические флористические, ландшафтно-географические, зоологические) исследования (Рисунок 9) и фотографии ландшафтов. Комплекс этих данных, взаимосвязанных в пространстве (географические координаты) и времени, позволяет создать единую географическую информационную систему (ГИС), включающую базу данных (БД) по всем полевым наблюдениям на ключевых участках. В инструментальных исследованиях, при комплексном топо-экологическом профилировании, были задействованы: оптический нивелир НЗК (штатив и рейка); почвенные буры; приборы с функцией геопозиционирования GPS и ГЛОНАСС; фотокамера; портативная метеостанция Skywatch Geos N11, ноутбук с программным обеспечением (ПО) для ряда приборов и для работы с космоснимками в ГИС. Программное обеспечение ГИС и картографическое ПО разных производителей, в том числе: Quantum GIS; Esri ArcGIS; OziExplorer и другие.

В ходе исследований на Цимлянском водохранилище, топо-экологические профили (ЦП) прокладывались от уреза воды и вверх по склону с помощью нивелировочного хода: либо до коренной растительности – ковыльно-типчаковые степи, либо до агроугодий – пашни. Упрощённые геоботанические профили использовались также на побережье Рыбинского водохранилища (РП). Высотное положение «нуля» профиля определялось по положению уровня воды в водохранилище у плотины на день заложения профиля с поправкой на расстояние от плотины (пункт наблюдения). Были заложены 9 топо-экологических профилей на Цимлянском и 10 – на Рыбинском водохранилищах.

2.2. Дистанционные методы (аэрофотосъёмка и космические снимки)

Процедура выбора снимков для выделения контрастных элементов переходных ландшафтов «вода-суша» и переходной границы предполагает определение их наибольшего спектрального контраста на анализируемом растровом рисунке (Рис. 1, 4, 6). Водные поверхности обладают высокой поглощающей способностью (низкой спектральной яркостью отражения), в длинноволновой части оптического спектра (1,43 и 1,93 мкм), поэтому влажные почвы выглядят значительно темнее, в то время как для растительного покрова в ближнем инфракрасном диапазоне – максимум спектральной яркости. На этих контрастах в отражении волн определённой длины волны разными объектами и строятся алгоритмы обработки и анализ снимков, выделение интересующих объектов.

2.3. ГИС технологии

Для совместной обработки дистанционных и контактных данных о распределении тех или иных параметров водной среды и совмещения с изображениями, полученными из космоса, учитывались даты съёмки спутниками. Основные источники официальных данных по уровням водохранилищ: 1) АИС ГМВО, 2) «Центр регистра ГТС», 3) ФГУ «УВРЦВ», 4) Росгидромет. В настоящей работе использованы суточные данные уровня водохранилищ за 20-летний период.

2.4. Ошибки методов выделения переходных зон ландшафтов

При оценке точности выделения переходных ландшафтов следует учитывать, что они являются особой зоной между соседними экосистемами, «широкой границей», «буферной зоной» – континуум с размытыми краями. Для чёткого выделения пространственных границ переходных ландшафтов «вода-суша», потребовалось переформулировать их описательное определение в структурное (пространственное), с чёткими формальными численными характеристиками разграничительных линий в блоках ЛВС, на основе уровневого режима водохранилищ.

2.5. Точность оценки площадей, определения контуров, обработки ДЗЗ

В наших исследованиях погрешность определения контуров и площадей традиционными картографическими и описанными методами не превышала 5–10%%.

Глава 3. Динамика и пространственная структура водно-наземной системы переходных ландшафтов для водохранилищ

3.1. Уровенный режим водохранилищ и характеристика зон взаимодействия вода-суша

В созданном, в рамках данной работы, ГИС «Акватерра» вся актуальная картографическая информация по ЛВС Рыбинского и Цимлянского водохранилищ представлена в электронной форме, в цифровом виде и векторном формате, доступными для автоматической обработки в современном компьютерном программном обеспечении.

3.1.1. Уровенный режим Цимлянского и Рыбинского водохранилищ по данным многолетних наблюдений

Ежесуточные изменения уровня Рыбинского и Цимлянского водохранилищ за многолетний период представлены на графиках – Рисунок 2 и Рисунок 3. Здесь хорошо видны

как внутригодовые (сезонные) пики и спады уровня стояния вод, так и многолетние: многоводные и маловодные периоды. Линии тренда на графике задают лишь общую тенденцию, которая у рассматриваемых водохранилищ оказалась различной. По литературным и нашим данным, влияние на микро- и мезорельеф побережья, на состояние растительных сообществ оказывают даже годовые колебания уровня (значительные), длительная же (многолетняя) тенденция приводит к существенной трансформации рельефа и смене доминант растительных сообществ береговой зоны. Почвы, по нашим и литературным данным, мало изменяются даже за десятилетия, за исключением верхнего слоя наносов в околководной зоне. Для Цимлянского водохранилища максимальная технически возможная отметка наполнения водохранилища ФПУ — 38,0 м; НПУ — 36,0 м и УМО — 31,0 м (здесь и далее: балтийская система высот – БС). Уровни Цимлянского водохранилища (Рисунок 2) указаны за период с 1994 по 2017 гг. (24 года) и близки к средним многолетним за весь период наблюдений, начиная с 1953 г.

Рыбинское водохранилище. Максимальная технически возможная отметка наполнения водохранилища ФПУ — 103,81 м; НПУ — 101,81 м и УМО — 96,91 м Диапазон колебаний за период 2001 по 2020 для гидрологического поста (гидрологический пост) «Рыбинский» – редко и незначительно превышал НПУ. Анализ имеющихся данных показал, что: в период 1970 – 2020 уровень незначительно превышал отметку 102 м лишь 5 раз и гораздо чаще не достигал НПУ: 22 года за тот же период. Ежесуточные данные (с 2001 г.) по уровню Рыбинского водохранилища представлены на графике – Рисунок 3.

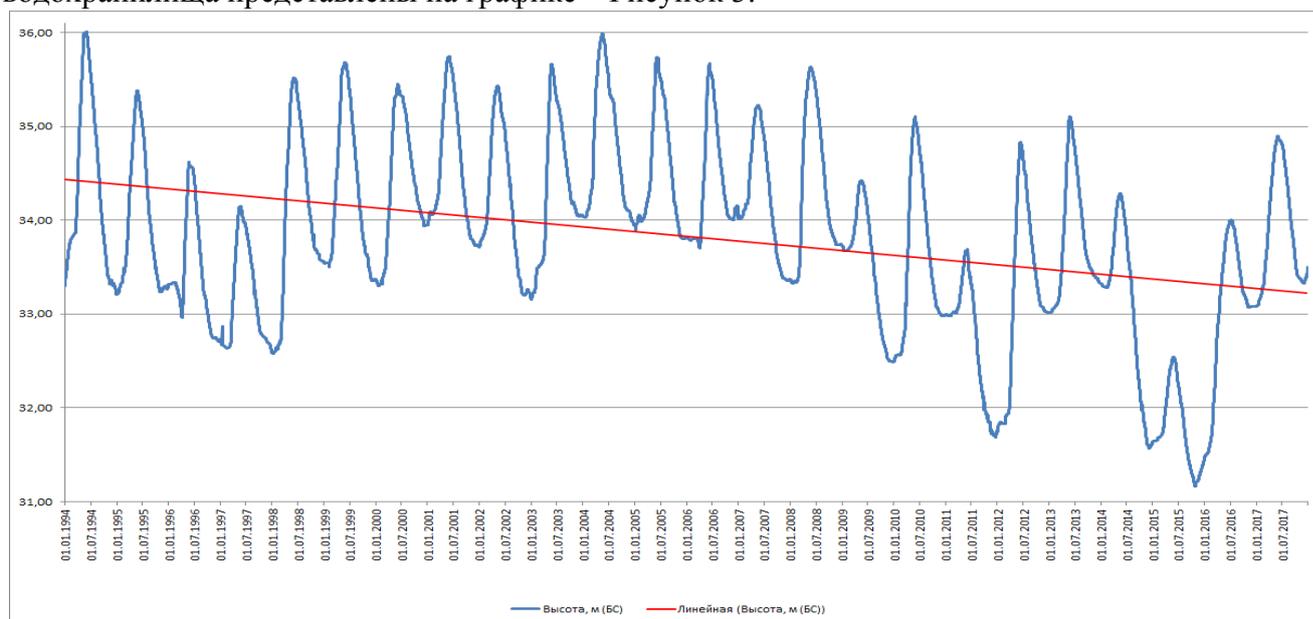


Рисунок 2 – График уровня суточных колебаний уровня Цимлянского водохранилища и линейный тренд изменений.

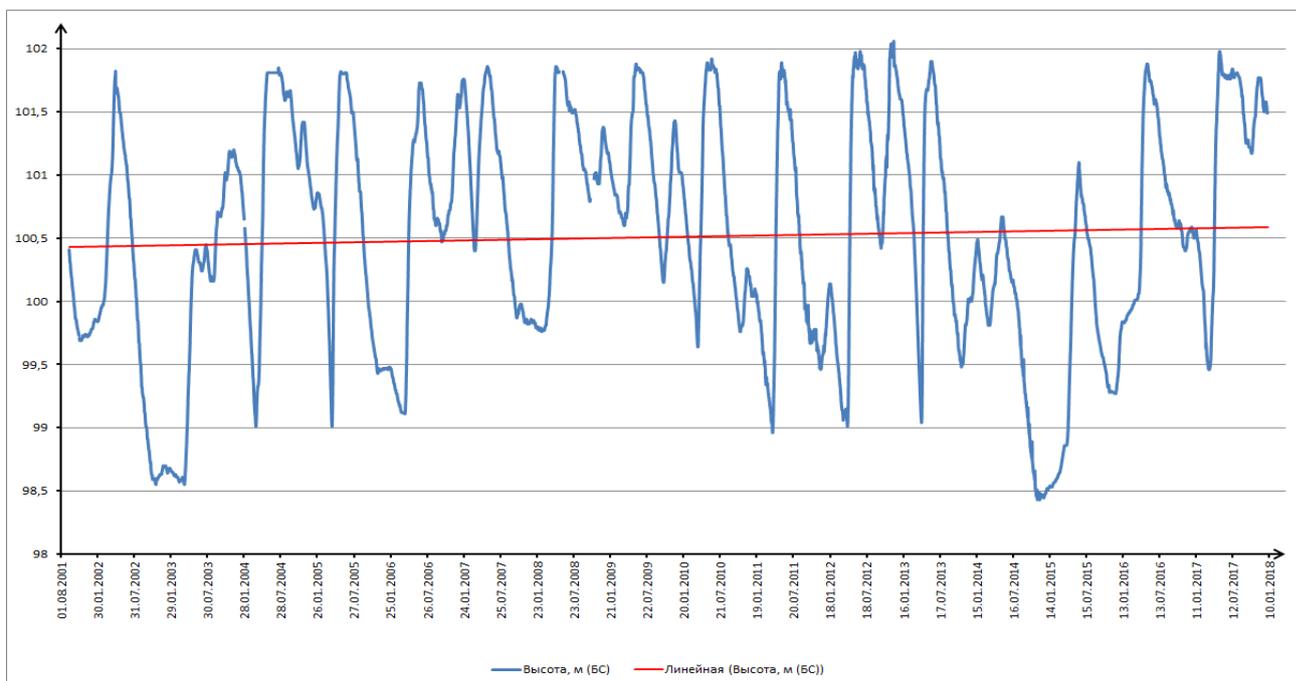


Рисунок 3 – График уровня суточных колебаний уровня Рыбинского водохранилища и линейный тренд изменений.

Последний 20-летний период относительной стабилизации амплитуды колебаний для уровня водохранилища достаточен для формирования соответствующих изменений не только в травянистых фитоценозах, но в древостое побережья. На основе литературных данных и наших наблюдений – берёза, осина, разные виды ивы за это время успевают сформировать молодой лес высотой до 10 м.

3.2. Зонирование побережья

Для определения и выбора характерных и экстремальных уровней Рыбинского водохранилища, их влияние на побережье, были проанализированы различные данные уровня режима за ряд периодов существования водоёма, Таблица 1, Таблица 2.

Таблица 1. Ежемесячные уровни Рыбинского водохранилища за весь период наблюдений 1948 – 2020 гг.

Уровень	Месяц												ср. много- летняя
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Макс	101,7	101,4	100,7	101,7	102,5	102,2	102,1	101,9	101,9	102,1	101,7	101,4	101,9
Мин	97,6	97,0	96,8	96,7	99,5	99,7	99,4	98,9	98,5	98,3	98,0	97,8	98,2
Средн.	99,5	99,0	98,7	99,4	101,2	101,4	101,2	100,8	100,4	100,1	100,0	99,9	100,0
Ампл.	4,0	4,4	3,9	4,6	2,7	2,5	2,7	3,0	3,4	3,8	3,7	3,6	3,7

Для сравнения проанализировали значения стояния вод водохранилища вегетационного сезона (периода физиологической активности растений) для последнего периода относительной стабилизации уровня (2001–2020 гг.). Средние сезонные значения очень близки для этих

периодов, чего нельзя сказать о критических – минимальных и максимальных значениях (Таблица 2).

Таблица 2. Сезонные значения уровня Рыбинского водохранилища – период 2001 – 2020гг.

Месяц	Максимум	Среднее	Минимум
май	102,0	101,4	99,5
июнь	102,0	101,5	100,2
июль	101,9	101,2	100,0
август	101,9	100,8	99,5
Минимум сезона	101,9	100,8	99,5
Среднее сезона	102,0	101,2	99,8
Максимум сезона	102,0	101,5	100,2

Для выявления предельных значений уровня Рыбинского водохранилища использован весь массив суточных данных за рассматриваемый период. В последние 2 десятилетия годовые значения уровня относительно стабильны – максимальная годовая амплитуда: 3,63м, что на 2,16м (37%) меньше, чем за весь период наблюдений.

Для Цимлянского водохранилища построены аналогичные таблицы, с ключевыми расчётными данными сезонных уровней стояния вод. Ввиду более продолжительного активного вегетационного периода для степного региона рассмотрены данные с апреля по сентябрь. Показано, что существенных изменений в итоговые численные значения это не вносит. Для выявления предельных значений уровня водохранилища использован весь массив суточных данных за рассматриваемый период (Таблица 3).

Таблица 3. Расширенный диапазон сезонных значений уровня Цимлянского водохранилища за период 2001 – 2020 гг.

Месяц	Максимум	Среднее	Минимум
Апрель	35,9	34,2	32,0
Май	36,0	34,8	32,4
Июнь	36,0	35,0	32,3
Июль	35,6	34,6	32,0
Август	35,3	34,2	31,6
Сентябрь	34,8	33,8	31,3
Минимум сезона	34,8	33,8	31,3
Среднее сезона	35,6	34,4	31,9
Максимум сезона	36,0	35,0	32,4

3.2.1. Картирование пространственное распределения участков переходных ландшафтов на побережье на основе дистанционных данных

Рыбинское водохранилище. Для выявления критических (ключевых) уровней стояния вод водохранилища, которые определяют состояние переходных ландшафтов – зоны взаимодействия контрастных экосистем «вода-суша», были использованы данные по заливанню высотных отметок – график уровня (см. рисунок – Рисунок 7). Пространство, периодически

затапливаемое, определялось в этом случае по имеющимся данным ДЗЗ на период соответствующего уровня водохранилища (Рисунок 3) округлённо: 99м – 100м – 101м – 102м. Так как препятствием для равномерного продвижения воды вглубь суши, на каждом выбранном уровне, являются особенности рельефа – потребовалась серия снимков ДЗЗ за соответствующие периоды, где можно выявить контуры открытой воды. Так был определён рельеф прибрежной зоны – серия линий уступов для каждого выбранного уровня (Рисунок 4).

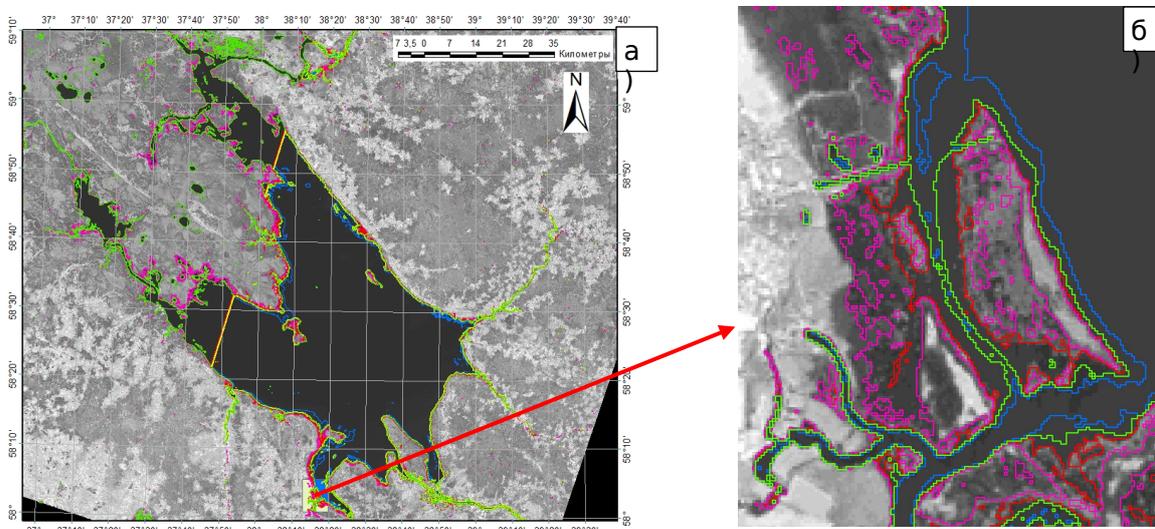


Рисунок 4 – Уровни Рыбинского водохранилища: а) всё водохранилище, б) фрагмент (о. Радовский). Уровни: 99м – 100м – 101м – 102м: синим, зелёным, красным, розовым – соответственно. Чёрный цвет – вода. Снимки ДЗЗ Landsat-8.

Размеры ЛВС могут исчисляться километрами для пологих участков побережий (в наших исследованиях до 3,5–5 км) или практически отсутствовать — для крутых, обрывистых берегов. Площади переходных ландшафтов на Рыбинском водохранилище составляют от 3% (максимума заливания) для средних многолетних уровней и до 17% для редких критических уровней последнего 20-летнего периода.

В границах Рыбинского водохранилища, определённых нами по плотинам на притоках, суммарная площадь водохранилища вычислена на основе радарной спутниковой съёмки высот (SRTM). Площадь озёрной части: равна 4566 кв. км для отметки до 102 м – см. рисунок (Рисунок 5), что соответствует литературным данным. В масштабе ГИС карты – Рисунок 5 хорошо различимы 3 крупных блока переходной зоны: аквальный (голубой цвет), дистантный (бежевый цвет), маргинальный (коричневый цвет).

Цимлянское водохранилище. Для Цимлянского водохранилища типичный многолетний максимум составляет – около 35 м, что почти на метр ниже НПУ. Периодически затапливаемое пространство определялось в этом случае по имеющимся данным ДЗЗ на дату соответствующего уровня водохранилища (см. Рисунок 2) округлённо: 32 м – 33 м и 35 м – 36 м. По аналогичной методике (см. Рыбинское водохранилище) определены контуры открытой воды и рельеф прибрежной зоны (Рисунок 6). На рисунках – снимки (ДЗЗ Landsat-7;8):

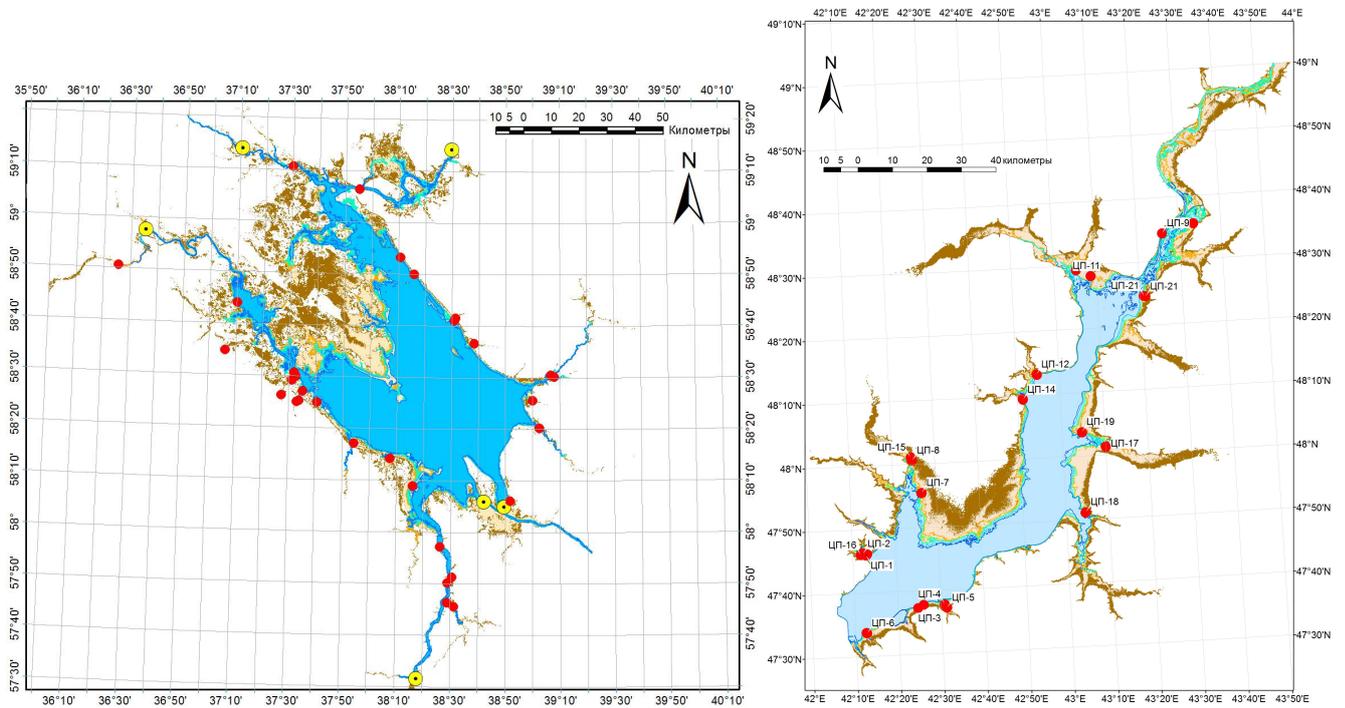


Рисунок 5 – Картографическая ГИС оценка расположения переходных ландшафтов, сопряженных с Рыбинским (А) и Цимлянским водохранилищем – для разных высотных уровней. Красным указаны топо-экологические профили и жёлтым – плотины, ограничивающие водохранилище.

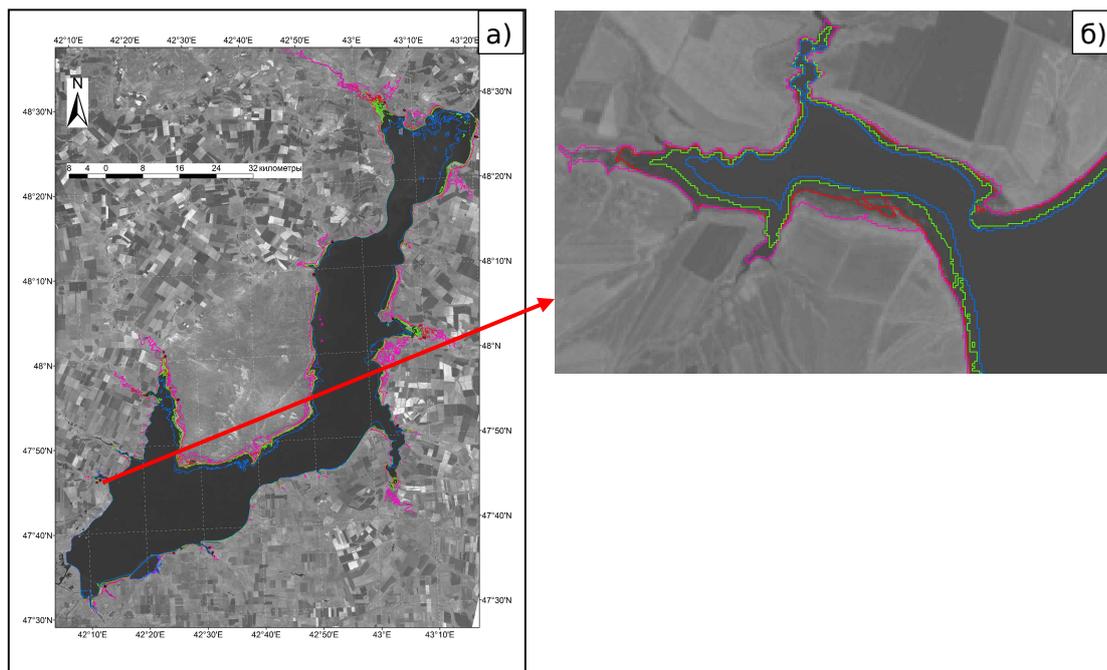


Рисунок 6 – Цимлянское водохранилище. Морфометрические характеристики с высокой точностью при использовании ДЗЗ в ГИС для обработки и анализа пространственных данных: а) всё водохранилище, б) фрагмент – станция Терновская. Уровни округлённо: 31м – 33м – 35м – 36м: синим, зелёным, красным, розовым – соответственно.

Критические (экстремальные) и типичные уровни стояния вод водохранилищ оказывают формирующее влияние на рельеф, растительность и почвы прибрежной зоны. На основе известных уровней стояния вод водохранилища векторизуется урез воды в картографических материалах ГИС. Переходные ландшафты занимают здесь 7% от площади зеркала вод для средних многолетних уровней и 21% для редких критических уровней последнего 20-летнего периода. Альтернативный источник данных о высотах прибрежной зоны – спутниковая съёмка высот SRTM – даёт наиболее сходные с литературными данными результаты вычисления площадей для уровня 35,6 м, близкого к НПУ (Рисунок 5).

3.3. Определение блоков ЛВС на основе гидрологических показателей (наземная и водная структура переходных ландшафтов)

В настоящей работе определены параметры блоков системы ЛВС, на основе положения ландшафта в рельефе побережий по картографическим данным или цифровой модели рельефа (ЦМР) и на основе гидрологических данных по уровенному режиму водохранилища (Рисунок 7). В ГИС «Акватерра» прибрежной зоны Рыбинского и Цимлянского водохранилищ проведена экстраполяция данных ЦМР побережий для выбранных высотных уровней блоков системы ЛВС. Ориентируясь на растительность, как индикатор влияния гидрологического режима на прибрежные экосистемы, мы рассматривали типичные и критические уровни водохранилища в вегетационный период (безморозный): май – октябрь.

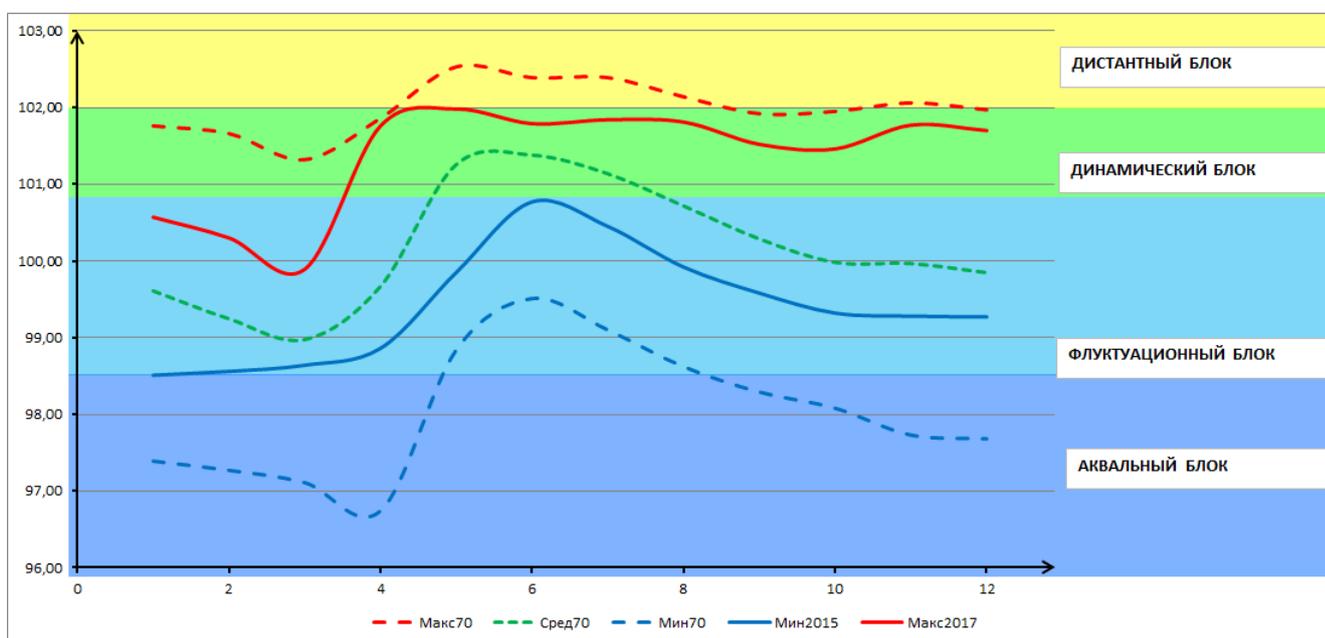


Рисунок 7 – Распределение редких и типичных критических уровней Рыбинского водохранилища в блоках переходных ландшафтов «вода-суша». Вертикальными сплошными стрелками отмечены типичные границы вегетационного периода.

Вертикальной пунктирной стрелкой – начало морозного, снежного периода.

Особое внимание уделено последнему двадцатилетнему периоду, как достаточному интервалу для формирования современного состояния биоконплексов ЛВС. Принятое нами распределение блоков системы ЛВС по высотным отметкам, в зависимости от гидрологического режима территории Рыбинского водохранилища, представлено на рисунке

(Рисунок 7), по данным последнего 20-летнего периода. Аквальный блок: границы установлены в интервале ниже 98,5 м (**многолетний минимум**); флуктуационный блок: (98,5 м – 100,2 м **ежегодный минимум**) – 101,0 м (**ежегодный максимум**), динамический блок: (101,0 м – 101,4 м **средний максимум**) – 102,0 м **многолетний максимум** (НПУ). Дистантный блок расположен выше 102 м и до ориентировочной отметки в 105 м (**3м глубины грунтовых вод** – типичный предел достижимости воды для растений), за которой располагается маргинальный блок системы ЛВС. Маргинальный блок системы ЛВС уже не связан с гидрологическим режимом водохранилища – его граница с зональной растительностью ещё более условна и размыта – проходит по отметкам 108 м – 110 м (БС). Гидрологические объекты на этих высотах уже независимо от водохранилища могут оказывать влияние на прилегающие ландшафты.

Для наземных блоков ЛВС Цимлянского водохранилища также, применяли функциональный принцип выявления природных биоккомплексов. При определении границ блоков системы ЛВС мы рассматривали только многолетние изменения максимального, среднего и минимального уровня за 20-летний период (2001-2020 гг.) (Рисунок 8, Рисунок 2, Таблица 3). Аквальный блок: границы установлены в интервале ниже 31,2 м (**многолетний минимум**); флуктуационный блок: (31,2 м – 32,4 м **ежегодный минимум**) – 34,8 м (**ежегодный максимум**), динамический блок: (34,8 м – 35,6 м **средний максимум**) – 36,0 м **многолетний максимум** (НПУ). Дистантный блок расположен выше 36,0 м (смотри также Рисунок 9) и до ориентировочной отметки в 39,0 м (**3м глубины грунтовых вод**), за которой располагается маргинальный блок системы ЛВС. Маргинальный блок системы ЛВС уже не связан с гидрологическим режимом водохранилища – его граница с зональной растительностью ещё более условна и размыта – около 42 м – 45 м (БС).

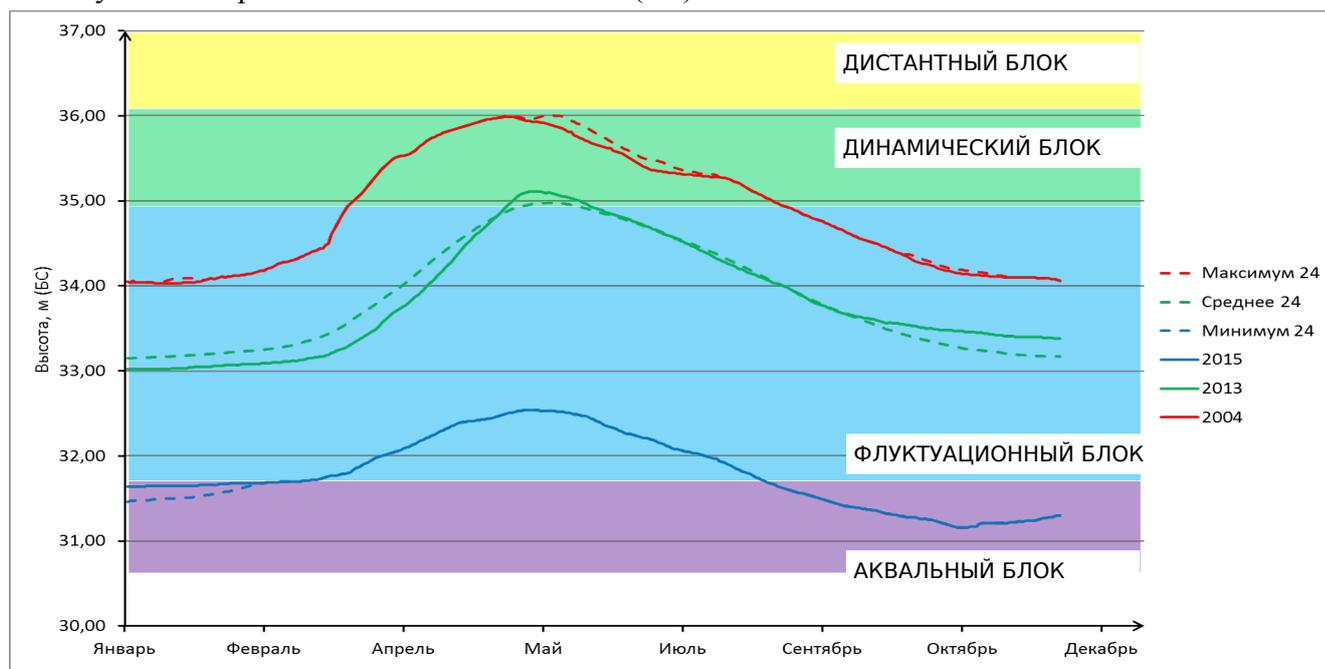
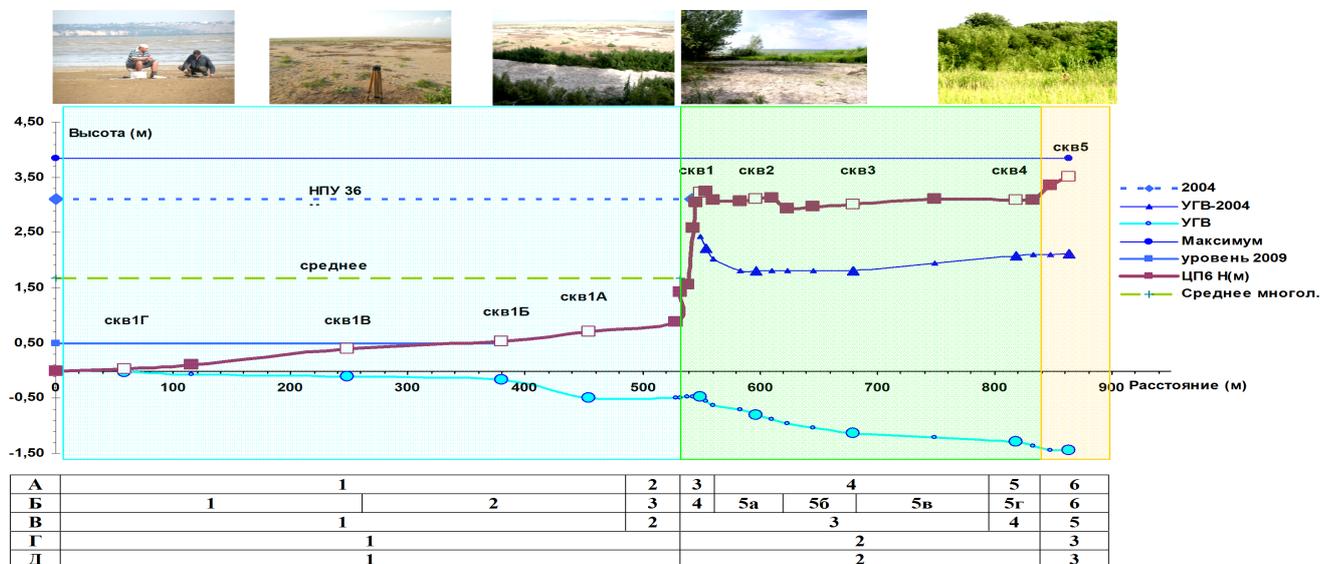


Рисунок 8 – Распределение редких и типичных критических уровней Цимлянского водохранилища в блоках переходных ландшафтов «вода-суша». Вертикальными сплошными стрелками отмечены типичные границы вегетационного периода. Вертикальной пунктирной стрелкой – начало морозного, снежного периода

Данные графика уровня уровней Цимлянского и Рыбинского водохранилищ использовались при закладке нивелировочных профилей на побережье. В ряде топо-экологических профилей отмечалось явное рельефо- и почвообразующее действие даже редких высоких уровней стояния вод, эти формы микро- и мезорельефа (береговые валы, пляжи, бровки, склоны и др.) со временем могут закрепляться корнями деревьев и трав (Рисунок 9).



Ландшафт 239 б. ЦП 6, Город Волгодонск, дачи. (0 профиля - 32,5м абс. БС) 23.08.2011.
Профиль заложен 20.07.04, дуг низкого уровня за дачным массивом города Волгодонска.

А. Элементы рельефа: 1 – дно водохранилища в зоне сработки, 2 – вал на обсохшем дне, 3 – береговой вал, 4 – пойменная терраса, 5 – притеррасное понижение, 6 – надпойменная терраса.

Б. Растительность. 1 – без растительности, 2 – проконоз ивово-тополёвый, 3 – бурьянистые однолетники, доминант - марь красная, 4 – тростниково-лапчатниково-ивово-тополёвое сообщество, 5 – парковый осокорник; 5а – вейниковый, 5б – вейниково-солодковый, 5в – тростниково-вейниковый, 5г – с бодяком; 6 – вязовник разнотравно-злаковый (лесополоса).

В. Почвы. 1 – смытые почвы, 2 - валы из ракушечника, 3 - Каштановая остаточно-луговая карбонатная, намытая среднесуглинистая на желто-бурой глине, 4 - Каштановая остаточно-луговая карбонатная, среднесуглинистая на желто-буром суглинке, 5 - Каштановая остаточно-луговая карбонатная, среднесуглинистая на желто-буром суглинке.

Г. Характер увлажнения: 1 – длительное заливание, 2 – заливной (паводковое заливание), 3 - почвенно-грунтовой.

Д. Блоки экотона: 1 – флуктуационный, 2 – динамический, 3 - дистантный.

Рисунок 9 – Схема и основные данные комплексного экологического обследования побережья. Цимлянское водохранилище, восточнее г. Волгодонск [5].

В наших полевых исследованиях отмечались 3 основных типа профиля: 1) пологий, 2) обрывистый и 3) ступенчатый (смешанный). Как отмечалось выше, именно на пологих берегах блоки ЛВС наиболее полно выражены, широки и разнообразны. Фитоценозы таких берегов по нашим данным могут отличаться составом и доминантами в каждом блоке, но совпадают их экологические характеристики, определённые по фитоиндикационным экологическим шкалам (Цыганов, 1983; Бузук, 2009), совпадают также их эколого-ценотические стратегии по Раменскому (Раменский, 1938).

Для изученных водохранилищ, при летне-осенней сработке уровня до **ежегодного минимума**, характерно обнажение дна водохранилища без растительности или с пионерными группировками рудеральных и зональных видов – флуктуационный блок. Выше располагаются зоны водно-болотной травянистой группы растений – пояс тростников и водно-болотная древесная группа: пояса низкорослых и высоких деревьев и кустарников (ив, тополей) – (**средний максимум** сезона). Далее по склону часто встречается луговая группа растений до уровня НПУ – динамический блок. И ещё выше располагается лесная группа фитоценозов,

редко (раз в 10-летие) и кратковременно заливаемая, при превышении НПУ водохранилища – дистантный блок.

На основе ряда геоботанических и почвенных исследований нами выявлено влияние экстремальных значений уровня водохранилища: на рельеф профиля и его строение, на верхний слой почв, а также на формирование поясов растительности и уровень стояния грунтовых вод. При смене маловодных периодов многоводными, происходит размыв поясов растительности, ранее укоренившейся на низком берегу и переформирование профиля берега.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведённых исследований разработана методика определения блоков переходных ландшафтов по данным графиков уровня воды, высотным топографическим данным и материалам дистанционного зондирования Земли среднего пространственного разрешения. Доказана принципиальная возможность предсказания границ и основных характеристик блоков переходных ландшафтов на профилях многолетних наблюдений.

Выводы

1. Установлены многолетние разнонаправленные тренды водности для крупных равнинных водохранилищ разных природных зон – Рыбинского и Цимлянского водохранилища. В последний 20-летний период показана стабильность для Рыбинского и существенное снижение уровня для Цимлянского водохранилища.
2. Впервые документально подтверждено, что для этих водохранилищ максимальный и минимальный уровни заполнения являются определяющими в формировании рельефа побережья, при этом средние значения уровня воды не оказывают такого влияния.
3. Для выявления изменений на побережье необходим срок не менее 15 – 20 лет, в течение которого успевает сформироваться полноценное растительное сообщество с древесной растительностью.
4. Установлено, что общая площадь системы переходных ландшафтов составляют до 56% (Рыбинское водохранилище) и до 61% (Цимлянское водохранилище), от площади водоёма при НПУ. Из них периодически заливаемые территории, согласно средним многолетним показателям, расположены ниже НПУ – до 17% на Рыбинском и до 21% – Цимлянское водохранилище.
5. Впервые обосновано и применено на практике использование критериев выделения границ блоков в переходных ландшафтах побережий, на основе комплексного подхода, включающего следующие параметры: уровенный режим водохранилища; уровень грунтовых вод и геоботаническая характеристика берегового профиля для разнотипных участков побережья.
6. Разработан метод обработки данных в ГИС, включающих: данные ДЗЗ, материалы полевых исследований и данные по уровням водохранилищ; который позволил осуществить полномасштабное геоэкологическое картирование береговых и мелководных ландшафтов Рыбинского и Цимлянского водохранилищ.

Практические рекомендации

Разработанные методики и полученные результаты районирования прибрежной зоны, выявленные взаимосвязи гидрологического взаимодействия позволяют в перспективе разработать информационную модель функционирования зоны контакта двух экосистем под влиянием водного фактора.

Использованные виды данных позволяют осуществлять крупномасштабное картографирование переходной зоны «вода-суша», с выделением переходных ландшафтов, а также вести мониторинг морфометрических параметров прибрежных ландшафтов, на основе регулярно обновляемых материалов ДЗЗ, в масштабах всего водохранилища. Это, в свою очередь, обеспечивает научно обоснованные методические рекомендации для принятия решений по рациональному использованию природных ресурсов водохранилища, примыкающей гидрографической сети и прибрежных ландшафтов.

Благодарности.

Автор выражает благодарность за помощь и внимание к работе – д.г.н. Поддубному С.А., д.б.н. Крылову А.В., д.б.н. Комову В.Т. А также выражает признательность за ценные замечания по рукописи – к.т.н. Михайленко Н.Ю., к.б.н. Романову М.С. и благодарит коллег по совместным экспедиционным полевым работам.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из перечня ВАК, Web of Science и Scopus:

1. Кутузов А. В. Экотонная система Юго-Восточного побережья Цимлянского водохранилища / Т. В. Балюк, А. В. Кутузов, О. Г. Назаренко // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – № 1. – С. 104-112. – 8с. (0,9 п.л./ 0,6 п.л.)
2. Кутузов А. В. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга систем "вода -суша" на равнинных водохранилищах (на примере Цимлянского водохранилища) / А. В. Кутузов // Исследование Земли из космоса. – 2011. – № 6. – С. 64-72. – 9с. (1,0 п.л./ 1,0 п.л.)
3. Кутузов А. В. Возможности использования данных дистанционного зондирования при геоэкологическом исследовании водных антропогенных комплексов и их побережий при обеспечении контроля за природно-очаговыми и паразитарными инфекциями / А. В. Кутузов, Д. В. Транквилевский, В. А. Царенко, В. И. Жуков // Дезинфекционное дело. – 2013. – № 1. – С. 37-41. – 5с. (0,6 п.л./ 0,4 п.л.)
4. Кутузов А. В. Особенности сезонной численности мелких млекопитающих в закрытых луго-полевых стациях на Окско-Донской низменной равнине, Среднерусской возвышенности и степи с точки зрения эпидемиологического значения / Д. В. Транквилевский, Д. А. Квасов, О. В. Клепиков, Н. И. Простаков, С. А. Куролап, А. В. Сурков, А. В. Кутузов, В. А. Царенко, М. Н. Корсак, В. И. Жуков // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2014. – № 5(254). – С. 31-35. – 5с. (0,6 п.л./ 0,2 п.л.)

5. Кутузов А. В. Оперативный спутниковый мониторинг скоплений планктонных водорослей и количественная оценка их плотности / А. В. Кутузов // Географический вестник. – 2016. – № 3(38). – С. 160-168. – 9с. (1,0 п.л./ 1,0 п.л.)
6. Кутузов А. В. Динамика высшей водной растительности защищенного мелководья в связи с уровнем воды в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища / С. А. Поддубный, Е. В. Чемерис, А. В. Кутузов, А. И. Цветков, А. А. Бобров // Биология внутренних вод. – 2022. – № 2. – С. 136-146. – 11с. (1,3 п.л./ 0,3 п.л.)

Другие публикации

7. Кутузов А.В. Использование лесотаксационных карт как основы экотонного зонирования побережья Рыбинского водохранилища / Кутузов А.В. / Материалы VIII Молодёжной конференции ботаников в Санкт–Петербурге (17–21 мая 2004 года). – СПб., СПГУТД, 2004, – 274 с. С. 172–173. – 2с.
8. Кутузов А.В. Эколого–биологическая оценка влияния колебания уровня водохранилища на млекопитающих экотонной системы побережья / Кутузов А.В. / Оценка влияния изменения режима вод суши на наземные экосистемы / [отв. ред.: Н.М. Новикова] ; Ин–т водн. проблем. – М.: Наука, 2005. – 365 с. С. 163–175. – 13с.
9. Кутузов А.В. Методы выявления состава и структуры экотонной системы вода–суша на побережье Цимлянского водохранилища / Балюк Т.В., Кутузов А.В. // Аридные экосистемы. – М.: РАСХН. Том 12, №30–31. 2006. С. 72–82. – 11с.
10. Кутузов А.В. Опасность переувлажнения земель под влиянием изменения климата / Новикова Н.М., Кузьмина Ж.В., Шумова Н.А., Кутузов А.В. / Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного федерального округа Российской Федерации. /. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». 2007. – 384 с. С. 238–239. – 2с.
11. Кутузов А.В. Опасность изменения уровня грунтовых вод и подтопления земель / Новикова Н.М., Кузьмина Ж.В., Шумова Н.А., Кутузов А.В. / Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного федерального округа Российской Федерации. /. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». 2007. – 384 с. С. 240–245. – 6с.
12. Кутузов А.В. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экотонных систем «вода–суша» / Кутузов А.В. / Проблемы изучения краевых структур биоценозов. Материалы 2–й Всерос. Науч. Конф. С междунар. Участием. – Саратов: изд-во Саратов. Ун–та, 2008. – 248 с. С. 59–62. – 4с.
13. Кутузов А.В. Комплексное использование материалов топо–экологических исследований и данных дистанционного зондирования при создании ГИС экотонных систем «вода–суша» крупных равнинных водохранилищ / Кутузов А.В. / Материалы международной научной конференции "Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России" /Под ред. Б.Ф. Апарина 1–4 марта Санкт–Петербург, 2011. – 538 с. С. 281–283. – 3с.

14. Кутузов А.В. ГИС ландшафтов побережий крупных водохранилищ на основе полевых данных и ДДЗ / Кутузов А.В. С. 260–265 / Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы геоботаники» 11–13 мая Алматы: 2011. – 349 с. 6с.
15. Кутузов А.В. Комплексное геоэкологическое исследование побережий водохранилищ / Кутузов А.В. / Материалы международной научно–практической конференции «Рациональное природопользование: традиции и инновации» 23–24 ноября МГУ Москва, 2012. С. 171–174. – 4с.
16. Кутузов А.В. О результатах наблюдений за водяной полевкой (*Arvicola amphibius* Linnaeus, 1758) на территории Российской Федерации в 2011–2014 гг. по данным учреждений Роспотребнадзора / Транквилевский Д.В., Борисов С.А., Киселева Е.Ю., Матросов А.Н., Удовиков А.И., Захаров К.С., Сурков А.В., Жуков В.И., Корсак М.Н., Бережная Т.В., Бережной А.В., Трегубов О.В., Шефтель Б.И., Кутузов А.В. // Пест–менеджмент, № 4(92), 2014. С. 14–26. – 13с.
17. Кутузов А.В. Особенности численности мелких млекопитающих и их эпизоотическое значение в природных очагах инфекций в устье реки Сарма в осенне–зимний период 2015 – 16 года / Борисов С.А., Кутузов А.В. С. 56–63 // Дезинфекционное дело, №2, 2016. – 8с.
18. Кутузов А.В. Определение экотонной системы побережий водохранилищ по многолетним рядам данных космической спектральной съемки / Кутузов А.В. / Материалы Всероссийской молодежной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии», пос. Борок, Ярославская область, 10–13 ноября 2016 г. / ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН; под ред. И.С. Турбанова и др. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 256 с. С. 38–39. – 2с.
19. Кутузов А.В. Население мелких млекопитающих и их эпизоотическое значение в околородных и сопредельных станциях на юге Центрального Черноземья / Транквилевский Д.В., Квасов Д.А., Козорезов А.В., Кутузов А.В. // Пест-Менеджмент. Pest Management. № 4(100), 2016. С. 27–41. – 5с.
20. Кутузов А.В. Экотонная система «вода–суша» водохранилищ разных географических зон, общий план строения и особенности / Кутузов А.В. / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VI Международной научно–практической конференции (29 мая – 31 июня 2017 г., г. Пермь) Гидробиология и ихтиология. Вопросы гидрологии и геоэкологии. Изд. ПГНИУ. – Пермь : 2017. Т. 3: – 199 с. С. 120–124. – 5с.
21. Кутузов А.В. Заращение мелководий верхневолжских водохранилищ: особенности, закономерности, динамика / Поддубный С. А., Чемерис Е. В., Бобров А. А., Кутузов А.В. / Волга и ее жизнь : материалы конференции Ин–т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2018 г. – Ярославль : Филигрань, 2018. – 158 с. С. 104. – 1с.
22. Кутузов А.В. ГИС картирование побережья и мелководий водохранилищ на основе современных спутниковых данных / Кутузов А.В. / Волга и ее жизнь : материалы конференции Ин–т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2018 г. – Ярославль : Филигрань, 2018. – 158 с. С. 81. – 1с.

23. Кутузов А.В. Использование современных и архивных данных ДЗЗ для ГИС мониторинга околоводных экосистем / Кутузов А.В. // Трансформация экосистем, Т.1 №1. 2018. С. 86–90. – 5с.
24. Кутузов А.В. Методы определение степени зарастания мелководий Рыбинского водохранилища по данным дистанционного зондирования земли и многолетним гидробиотическим исследованиям / Поддубный С. А., Цветков А. И., Кутузов А.В. / Материалы IX Международной научной конференции по водным макрофитам «Гидробиотика 2020» (Борок, Россия, 17–21 октября 2020 г.). – Борок : ИБВВ РАН; Ярославль : Филигрань, 2020. – 212 с. С. 136–138. – 3с.
25. Кутузов А.В. Изменение растительного покрова оз. Плещеево (Ярославская обл.) С 1899 по 2017 гг. / Чемерис Е. В., Ефимов Д.Ю., Гришуткин О. Г., Кутузов А.В. // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, , вып. 90(93), 2020. С. 33–52. – 10с.
26. Кутузов А.В. Поиск водопадов Эфиопии по данным дистанционного зондирования / Кутузов А.В. // Трансформация экосистем Т.4 №1. 2021. С. 77–87. – 11с.
27. Кутузов А.В. Структура течений и водообмен зарастающего мелководья (на примере Волжского плеса Рыбинского водохранилища) / Поддубный С.А., Цветков А.И., Кутузов А.В. С. 160–165 / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VIII Всероссийской научно–практической конференции с международным участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.), издательство ПГУ (Пермь): 2021, – 542 с. – 6с.