

УДК 504.455; 551.435.326; 528.854

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПЕРЕСЫПЕЙ ВО ВХОДНЫХ СТВОРАХ ЗАЛИВОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М.С. Баранова¹, О.В. Филиппов², А.И. Кочеткова³, Е.С. Брызгалина⁴

^{1–4} Волжский филиал Волгоградского государственного университета

¹ Учебно-научная лаборатория исследования региональных систем, сотрудник;
e-mail: maria_baranova2902@rambler.ru

² Кафедра математики, информатики и естественных наук, доц., канд. геогр. наук; e-mail: oyfilippov@list.ru

³ Кафедра математики, информатики и естественных наук, доц., канд. биол. наук; e-mail: aikochetkova@mail.ru

⁴ Кафедра математики, информатики и естественных наук, ст. преподаватель; e-mail: bryzgalina_elena@mail.ru

Последствиями переформирования берегов Волгоградского водохранилища стали производные процессы вдольберегового транспорта и седиментации наносов. Вдольбереговой перенос наносов инициировал отделение заливов от основной акватории водохранилища абразионно-аккумулятивными пересыпями. Классификация заливов по степени сформированности пересыпей во входном створе является начальным этапом комплексного исследования и необходима для выявления основных закономерностей их отделения. При изучении процесса в дополнение к полевому методу наиболее эффективно использование данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий. Материалами настоящей работы послужили спутниковые снимки программы Google Планета Земля и данные полевых обследований заливов 2008, 2010–2016 и 2019–2020 гг. Применены аналитические (картографический, графический, математический, методы работы со спутниковыми снимками) и полевые методы исследования (геометрическое нивелирование пересыпей и кос, батиметрическая съемка заливов). По снимкам программы Google Планета Земля измерены морфометрические характеристики входных створов заливов право- и левобережья Волгоградского водохранилища. Проведено сравнение экспедиционных материалов и данных, полученных по спутниковым снимкам. Разница абсолютных значений не превышает удвоенную среднюю квадратическую ошибку, что говорит о достоверности применяемого метода исследования. Для классификации нами были вычислены два коэффициента, учитывающих ширину залива во входном створе, ширину береговой отмели во входном створе и длину надводной части пересыпи или косы. По степени сформированности пересыпей во входном створе нами выделено шесть классов заливов: открытые (1 класс), в начальной стадии отделения (2), в активной стадии отделения (3), в завершающей стадии отделения (4), закрытые (5) и особый класс – заливы, входные створы которых подвергались антропогенному воздействию (6). Активизация процесса отделения залива происходит при нарастании абразионно-аккумулятивной отмели в его входном створе. При ускорении формирования абразионно-аккумулятивных пересыпей наблюдается их быстрое зарастание высшей водной, травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

Ключевые слова: абразионно-аккумулятивные пересыпи, вдольбереговой транспорт наносов, спутниковые снимки, классификация

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.11

ВВЕДЕНИЕ

Процесс разрушения берегов морей и крупных равнинных водохранилищ вместе с производными процессами вдольберегового транспорта и седиментации продуктов разрушения становится на сегодняшний день одним из наиболее актуальных. Под абразией понимается процесс разрушения береговых склонов под воздействием энергии ветровых волн. На искусственных водоемах абразия перерабатывает берега десятки лет, в отличие от берегов естественных водоемов (тысячи лет) и стадия развития процесса на водохранилищах может быть определена как начальная [Зенкович, 1962; Филиппов и др.,

2009]. Разрушение берегов приводит к ряду негативных последствий как для экосистемы водоема, так и для хозяйственной деятельности человека. К ним можно отнести ухудшение качества воды и донных отложений, отчленение заливов, заиление и занесение ложа водохранилища, угрозу эвтрофикации водоема, сокращение биоразнообразия, изъятие прибрежной полосы акватории водохранилища из зоны экономической деятельности, деградацию прибрежных ландшафтов [Филиппов и др., 2009].

Вдольбереговой перенос наносов инициировал производный процесс – полное или частичное отделение заливов от основной акватории водоема

абразионно-аккумулятивными пересыпями (ААП) [Изучение..., 1967; Филиппов и др., 2009; Законнов и др., 2018].

В работах [Johnson, 1919; Bagnold, 1947; Пышкин и др., 1967; Каплин и др., 1991; Banach, 1994; Хабилов и др., 1999; Леонтьев, 2014; Lopez-Ruiz et al., 2014; Jarmalavičius et al., 2017; Ouillon, 2018; Hemmingsena et al., 2019; Valiente et al., 2020] и многих других сделано исследование вдольберегового транспорта наносов. Этими учеными рассматривалась динамика вдольберегового переноса, вычислены скорости и расход наносов, однако проблема формирования устьевых пересыпей и отделения заливов ими не затрагивалась.

В настоящее время исследований, посвященных вопросам образования аккумулятивных форм рельефа (помимо пляжей), а тем более изучению процесса отделения заливов пересыпями, проведено сравнительно немного [Леонтьев, 1961; Зенкович, 1962; Изучение..., 1967; Назаров и др., 2013; Законнов и др., 2018 и некоторые другие]. О.К. Леонтьев (1961) и В.П. Зенкович (1962) указывали на образование кос и пересыпей значительной протяженности на Азовском море (косы Долгая, Обиточная, Бердянская, Арабатская стрелка) и свободных форм рельефа на Черном (коса Тендра) и Каспийском морях (Аграханская коса). Состав и распределение осадков Анапской пересыпи (Черное море) подробно рассмотрены в работах Ю.Д. Шуйского (1986), Р.Д. Косьяна и др. (2020), И.О. Леонтьева и Т.М. Акивис (2020). Строение Куршской и Балтийской кос (Балтийское море) изучалось Е.Н. Бадюковой, Л.А. Жиндаревым, С.А. Лукьяновой, Г.Д. Соловьевой (2010, 2011). Образование кос и пересыпей на озере Байкал упоминается в работах Е.А. Козыревой и др. (2020) и А.Л. Хомчановского (2021).

На водохранилищах зоны недостаточного увлажнения (Куйбышевском и Цимлянском), проблема отделения заливов упоминается в работах С.Л. Вендрова (1955, 1958) и А.И. Барановой и др. (2021). С.Л. Вендров отмечает, что узкие боковые заливы Цимлянского водохранилища оказались отделенными пересыпями уже в конце первого лета после заполнения водоема (1954). На Камском и Воткинском водохранилищах данный вопрос изучался под руководством Н.Н. Назарова в Пермском государственном национальном исследовательском университете [Назаров и др., 2013; 2015]. Учеными было установлено наличие пересыпей в устьевых створах нескольких заливов, определен гранулометрический состав наносов во взаимосвязи с литологическим составом берегов. На Новосибирском водохранилище образование замыкающих аккумулятивных форм в устьях малых рек отмечается в работе [Хабилов и др., 1999].

Переформирование берегов и перекрытие устьевых створов заливов пересыпями активно развиваются на Волгоградском водохранилище, наиболее динамично – на озерном его участке. Водохранилище было образованно с возведением плотины ГЭС на реке Волге у г. Волгограда в 1958 г. и является замыкающим в Волжско-Камском каскаде. Водоем подразделяется на три участка: озерный (Волжская ГЭС – пос. Ровное), озерно-речной (пос. Ровное – г. Маркс) и речной (г. Маркс – Саратовская ГЭС). По морфологии и условиям гидрологического режима нижний участок водохранилища наиболее близок к озерным условиям, потому и был назван озерным. Верхний участок по тем же характеристикам соответствует речным условиям и назван речным. Озерно-речной (средний) участок соединяет в себе характеристики как речного, так и озерного участков.

Под термином «абразионно-аккумулятивная пересыпь» мы будем понимать замыкающую аккумулятивную форму рельефа во входном створе залива, образованную вследствие седиментации продуктов размыва (абразии) берегов. По своему генезису пересыпи относятся к аккумулятивным формам. Используя термин «абразионно-аккумулятивные», мы хотим подчеркнуть, что такие формы рельефа на Волгоградском водохранилище сложены продуктами размыва берегов. Другие гидродинамические процессы на водохранилище распространены в незначительной степени и не приносят материала на ААП. Пересыпь является составной частью абразионно-аккумулятивной отмели и включает в себя как надводную, так и подводную ее часть во входном створе залива. Под абразионно-аккумулятивной отмелью мы будем понимать прибрежную отмель, образованную вследствие аккумуляции продуктов размыва берегов. Началом для каждой ААП служит внешний край прибрежной отмели, окончанием – береговой уступ пересыпи в заливе. Коса – это свободная аккумулятивная форма рельефа, включающая только надводную часть абразионно-аккумулятивной отмели во входном створе залива [Леонтьев, 1961; Зенкович, 1962; Изучение..., 1967].

В пределах Волгоградского водохранилища многочисленны заливы, большинство которых представляет собой затопленные его водами устья балок и оврагов. Наиболее крупные заливы сформировались в подтопленных устьях притоков озерного участка (Еруслан, Камышинский, Горный Балыклей). Мелководные заливы (с глубинами 1–4 м) были образованы устьями рек, впадающих в водохранилище на речном и озерно-речном участках (Большой Иргиз, Большой и Малый Караман, Тарлык и т. д.). Очень глубокие заливы (до 18–21 м) образовались при создании водоема в устьях малых рек на озерном участке (Пичуга, Ерзовка, Песковатка и др.). Наиболее значительные

из балок по обоим берегам водоема заполнены его водами и превращены в заливы (Яблонувый, Песчаный, Карагачева Балка, Кислово и др.) [Изучение..., 1967; Филиппов и др., 2009]. На озерном участке постоянным стоком обладают только река Еруслан и малые реки (Щербаковка, Даниловка, Камышинка), поэтому большинство заливов водохранилища становятся эстуариями только в краткосрочный период весеннего половодья (при стоке воды с водосбора каждого залива).

Отделение заливов Волгоградского водохранилища абразионно-аккумулятивными пересыпями является одной из региональных экологических проблем Волгоградской области. В результате единая экосистема водохранилища оказывается разобщенной; в заливах создаются условия лимнической экосистемы с признаками ее деградации [Филиппов и др., 2009]. Наблюдается изменение экологического состояния отделенных заливов в сторону ухудшения: накопление большого количества биогенных веществ, повышение концентраций главных ионов в воде (гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, натрия, калия, иногда кальция), зарастание, занесение и заиление (в том числе органогенное), дефицит растворенного кислорода в придонном горизонте. Другими проявлениями деградации экосистемы служат отсутствие признаков активности гидробионтов, прогрев водной массы до дна, появление гнилостного запаха в заливе, массовое распространение фитопланктона, увеличение площади мелководной зоны [Баранова и др., 2021]. Подобные процессы не наблюдались в заливах Волги до создания водохранилища.

На Волгоградском водохранилище процесс отчленения заливов практически не изучен, за исключением некоторых исследований А.И. Барановой и др. (1967), О.В. Филиппова и др. (2009), Н.Н. Назарова и др. (2015). В первой работе отмечается, что к июню 1963 г. устья заливов по оврагам и большинству балок в пределах песчаных склонов уже были заполнены наносами или отделены пересыпями. Работа по изучению вдольберегового транспорта наносов и процесса образования пересыпей была продолжена в 2008–2009 гг. коллективом направления подготовки «Экология и природопользование» Волжского филиала ВолГУ: были обследованы ААП во входных створах некоторых заливов и притоков водоема, проведена визуальная оценка основного формирующего материала, вычислены объемы пересыпей, сделаны первые шаги по изучению зарастания заливов [Филиппов и др., 2009; Назаров и др., 2015]. В период с 2010 по 2016 г. нами обследовалось экологическое состояние отдельных заливов право- и левобережья и ААП в их входных створах.

В 2019–2020 гг. авторами было выполнено комплексное исследование процесса отделения зали-

вов Волгоградского водохранилища абразионно-аккумулятивными пересыпями. Подобная работа не проводилась ранее в пределах отдельного водоема. В итоге были определены: основные факторы, влияющие на процесс; гранулометрический состав ААП во взаимосвязи с литологическим составом берегов; пространственно-временная динамика развития пересыпей; принципиальные отличия процесса на право- и левобережье водоема; характеристика экологического состояния заливов; закономерности процесса формирования пересыпей. Классификация заливов, представленная в этой статье, является начальным этапом комплексного исследования процесса образования пересыпей.

При изучении процесса образования ААП в дополнение к полевому методу наиболее эффективно использование данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий. Геоинформационные системы используются в нашей стране для определения морфометрических характеристик водоемов [Потахин и др., 2017; Дмитриева, Макаренко, 2020] и непосредственно при изучении заливов [Калужная и др., 2017; Кутузов, 2018]. Спутниковые снимки и геоинформационные технологии служат для выявления изменений состояния окружающей природной среды [Кравцова, Шуматиев, 2005; Орлова, 2008], в том числе и при изучении процессов переформирования берегов, вдольберегового транспорта и аккумуляции наносов [Ступин, 2011; Брыксина, 2014]. Согласно В.И. Кравцовой и В.В. Шуматиеву (2005), выявление изменений в состоянии природной среды возможно на основе сопоставления разновременных космических снимков.

Целью настоящего исследования стала классификация заливов Волгоградского водохранилища по степени сформированности абразионно-аккумулятивных пересыпей во входном створе на основе анализа спутниковых снимков.

Задачи исследования:

1. Проанализировать спутниковые снимки Google Планета Земля и выполнить по ним измерение морфометрических характеристик во входных створах заливов Волгоградского водохранилища.

2. Провести сравнительный анализ результатов, полученных по снимкам Google Планета Земля, с полевыми материалами для выявления достоверности применяемого метода.

3. Рассчитать коэффициенты, показывающие отношение длины пересыпи к ширине залива во входном створе и отношение ширины отмели к ширине залива в устьевом створе.

4. Выявить наличие и характер растительности на ААП по космоснимкам и материалам полевых исследований.

5. Провести классификацию заливов Волгоградского водохранилища по степени сформированности ААП во входных створах с учетом вычисленных коэффициентов, наличия и характера растительности на пересыпях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами работы послужили спутниковые снимки высокого пространственного разрешения веб-картографического сервиса Google Планета Земля [Google..., 2022], находящиеся в открытом доступе для широкого круга пользователей. Исследования по космоснимкам были дополнены нами архивными полевыми материалами 2008, 2010–2016 гг., полученными в ходе проекта «Волжский плавучий университет» Волжского филиала ВолГУ, и полевыми данными экспедиционных обследований 2019–2020 гг.

Применены аналитические методы исследования: картографический, графический, математический, методы работы со спутниковыми снимками.

Аналитические методы в настоящей работе дополнены полевыми:

- геометрическим нивелированием пересыпей и кос с помощью нивелировочных комплектов Nicon Ac-2s и НЗ;
- батиметрической съемкой заливов с помощью эхолотного комплекса Lawtence;
- получением GPS-координат внешней и внутренней частей пересыпей и кос с помощью GPS-приемников Garmin.

По спутниковым снимкам нами были изучены заливов право- и левобережья Волгоградского водохранилища. Процессы размыва берегов и вдольберегового транспорта наносов преобладают в основном на озерном участке, но местами встречаются и на озерно-речном (входные створы заливов Хомутинка, Мартышкин Сад и др.). В работе не учитывались мелководные лиманы, эстуарии притоков речного участка водохранилища, а также заливов озерно-речного участка в местах, не подверженных процессу размыва берегов. Всего было исследовано 198 заливов право- и левобережья водоема.

Снимки программы Google Планета Земля получены со спутников GeoEye-1 (пространственное разрешение 0,54 м на пиксель), WorldView-2 (0,46 м на пиксель) и WorldView-3 (0,31 м на пиксель) [Махаг..., 2021]. Каждый снимок предварительно проходит геометрическую, радиометрическую и ортотекстуальную и имеет пространственную (координатную) привязку [Космическая съемка..., 2021]. Поэтому расстояние, измеренное по таким снимкам, соответствует расстоянию на местности (при соответствующей точности проведения измерений в программе). Изученные снимки не являются

многоспектральными. Однако, благодаря высокому пространственному разрешению, их применение наиболее оптимально (например, по сравнению со снимками Landsat 30-метрового пространственного разрешения) при изучении заливов Волгоградского водохранилища.

Анализ проводился нами по последним снимкам периода открытой воды (2009–2021), имеющимся в архиве программы на момент исследования. Всего изучено около 100 снимков. Измерение морфометрических характеристик производилось с округлением до целого значения. Каждый залив прорисовывался в программе Google Планета Земля в виде отдельного полигона. Созданные полигональные объекты были сохранены в kml-формате, а затем экспортированы в shp-формат в программе ArcGIS 9.3. Измеренные показатели внесены в атрибутивную базу данных.

По спутниковым снимкам нами были измерены следующие показатели:

- ширина залива во входном створе (B , м);
- ширина подводной части береговой отмели во входном створе залива с глубинами до 1,5 м ($B_{\text{ААО}}$, м);
- длина надводной части пересыпи или косы ($L_{\text{ААП}}$, м) (рис. 1);
- ширина надводной части ААП или косы ($B_{\text{ААП}}$, м).

Классификация заливов по степени сформированности абразионно-аккумулятивных образований во входных створах ранее никогда не проводилась. Поэтому при исследовании была разработана авторская методика и вычислены два коэффициента:

Коэффициент $K_{\text{ААП}} = L_{\text{ААП}}/B$ и коэффициент $K_{\text{ОТМ}} = B_{\text{ААО}}/B$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования включают в себя сравнительный анализ данных, полученных по спутниковым снимкам, с полевыми материалами и классификацию заливов по степени сформированности ААП во входном створе.

Сравнительный анализ данных, полученных по снимкам Google Планета Земля, с полевыми материалами. Прежде чем перейти к вычислению коэффициентов и непосредственно к классификации заливов, мы сравнили материалы, полученные в ходе экспедиций, с данными, измеренными по космоснимкам. Следует отметить, что на спутниковых снимках Google Планета Земля хорошо прослеживаются не только надводные части ААП, но и абразионно-аккумулятивные отмели во входных створах заливов с глубинами до 1,5 м. Наличие и протяженность отмелей с такими глубинами подтверждается в ходе полевых исследований.

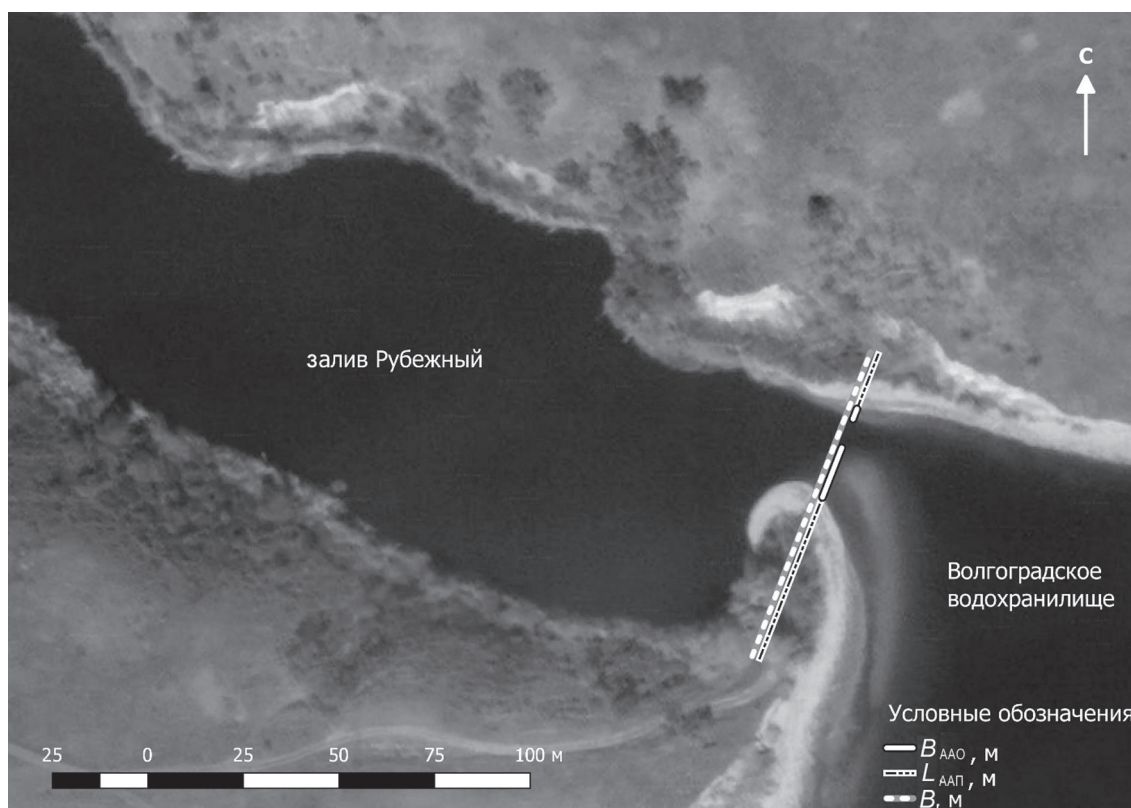


Рис. 1. Морфометрические характеристики входных створов заливов Волгоградского водохранилища, измеряемые по снимкам Google Планета Земля

Fig. 1. Morphometric characteristics of the entrance gates of the Volgograd Reservoir bays, measured from Google Earth images

Разница в датах снимков и полевых наблюдений не превышает 1–1,5 года, только в двух случаях разница составила чуть больше трех лет (заливы Сгонная Балка, Длинная Балка). Среднегодовая скорость нарастания надводной части ААП активно отделяющихся заливов составляет 1,5–1,7 м/год. Такая скорость наблюдалась в ходе полевых исследований в устье залива Другалка с 2008 г. (залив отделился к 2018 г.). В других случаях скорость образования надводной части пересыпи, согласно полевым обследованиям, составляет несколько сантиметров в год (во входном створе залива Верхний Ураков с 2010 г. и др.).

Нами были проанализированы снимки меженного периода (только в четырех случаях – окончания половодья). Среднесуточный уровень воды водохранилища в меженный период изменяется незначительно (не более 20 см) и колеблется около величины среднегодового уровня (14,66 м абс.). Колебания уровня воды водоема не способствуют размытию уже сформированных ААП [Филиппов и др., 2009].

Сравнительный анализ полевых материалов и измерений по спутниковым данным (табл. 1 и 2) показал незначительное расхождение в полученных

результатах. Средняя квадратическая ошибка σ для значений $B_{\text{ААП}}$ составила 4,2 (см. табл. 1), для значений $B_{\text{ААО}}$ – 5,0 (см. табл. 2). Разница абсолютных значений полевых данных и измеренных по снимкам не превышает 2σ , что показывает достоверность применяемого метода.

В настоящем исследовании по спутниковым снимкам Google Планета Земля была проведена классификация заливов по степени сформированности пересыпей во входных створах с выделением шести классов. При классификации нами учитывались величины рассчитанных коэффициентов $K_{\text{ААП}}$ и $K_{\text{ОТМ}}$, а также наличие в пределах пересыпей высшей водной растительности (ВВР, макрофитов), травянистой и древесно-кустарниковой. Наличие растительности установлено в ходе полевых наблюдений и по спутниковым снимкам.

Классификация заливов по степени отделения от основной акватории Волгоградского водохранилища и сформированности ААП во входном створе.

1. *Открытые заливы.* На спутниковых снимках признаки формирования абразионно-аккумулятивной пересыпи практически отсутствуют и, соответственно, отсутствует и растительность. Величина $K_{\text{ААП}} \approx 0,00$.

Таблица 1

Ширина ААП отделившихся или активно отделяющихся заливов, измеренная в ходе полевых наблюдений и по снимкам Google Планета Земля

№ п/п	Название залива	Величина $B_{\text{ААП}}$ (м), полученная		Дата	
		в ходе полевых наблюдений	по снимкам Google Планета Земля	полевого обследования	снимка Google Планета Земля
Правобережные заливы					
1	Большой	64	72	13.08.2019	03.03.2020
2	Жаркова	71	78	19.09.2016	06.10.2016
3	Другалка	15	19	29.07.2020	03.03.2020
4	Длинный Липовый	24	24	18.09.2016	13.10.2016
5	Суводский Яр	18	16	28.07.2019	17.05.2019
6	Бахченый Овраг-1	42	37	26.06.2019	14.08.2019
7	Бахченый Овраг-2	51	53	26.06.2019	14.08.2019
8	Крестищенская Балка	81	78	08.07.2019	20.03.2019
9	Залив без названия в 3,5 км к северо-вос- току от залива Крестищенская Балка	21	23	08.07.2019	14.08.2019
10	Ростовый	34	33	19.09.2016	06.10.2016
11	Короткий Липовый	69	65	18.08.2020	18.08.2020
12	Щербаковский	49	47	21.07.2011	19.09.2010
13	Третий	57	61	28.07.2020	18.08.2020
14	Сгонная Балка	36	37	04.07.2013	10.10.2016
15	Длинная Балка	27	20	04.07.2013	10.10.2016
16	Мостовой	33	32	19.07.2011	15.07.2010
Левобережные заливы					
17	Томатный	31	25	15.07.2011	07.07.2010
18	Шарова Балка	29	30	07.12.2018	28.08.2018
19	Бирючья Балка	30	31	27.06.2019	16.05.2019
20	Мордовский ¹	40	47	14.07.2015	06.10.2016
21	Песчаный ¹	13	16	27.06.2019	16.05.2019
22	Карагачева Балка ¹	35	35	17.07.2019	10.10.2018
23	Кислово ¹	54	51	30.07.2020	18.08.2020
24	Бориков ²	47	52	25.07.2008	12.08.2009
25	Каранчев ^{1, 2}	61	67	25.07.2008	12.08.2009
26	Залив без названия в 0,7 км к северу от залива Карагачева Балка	20	17	17.07.2019	10.10.2018

Примечания. ¹ Заливы, отделяющиеся от основной акватории Волгоградского водохранилища.

² Заливы реки Еруслан.

2. *Заливы в начальной стадии отделения.* ААП во входных створах этих заливов начали формироваться, но процесс их развития приостановился. Пересыпи не выходят за пределы прибрежной отмели, сформированной до начала абразионно-аккумулятивных процессов на водохранилище. Это подтверждает батиметрическая съемка входных створов заливов. На спутниковых снимках Google

Планета Земля в устьевых створах таких заливов отмечены косы в «зачаточном» состоянии.

Для заливов в начальной стадии отделения соблюдается неравенство $K_{\text{ААП}} < K_{\text{ОТМ}}$ и величина $K_{\text{ААП}} < 0,30$.

Высшая водная и травянистая растительность встречается на пересыпях в редких случаях. Травянистая растительность чаще всего представлена одно- и двухлетними видами. Древесно-кустарни-

ковые формации отмечаются только в верхней части пересыпи у коренного берега залива.

3. *Заливы в активной стадии отделения.* Абразионно-аккумулятивная пересыпь формируется не только в мелководной, но и в глубоководной части устьевого створа (при нарастании

прибрежной отмели во входном створе залива). Наблюдается постепенное увеличение абразионно-аккумулятивных кос с одной или с обеих сторон входного створа.

Для этого класса соблюдается неравенство $K_{\text{ААП}} > K_{\text{ОТМ}}$ и $0,31 \leq K_{\text{ААП}} \leq 0,89$.

Таблица 2

**Ширина отмели во входном створе залива, полученная в ходе полевых наблюдений
и по снимкам Google Планета Земля**

№ п/п	Название залива	Величина $B_{\text{ААО}}$ (м), полученная		Дата	
		в ходе полевых наблюдений	по снимкам Google Планета Земля	полевого обследования	снимка Google Планета Земля
Правобережные заливы					
1	Широкая Балка	46	41	28.07.2020	27.05.2021
2	Рубежный	18	13	30.07.2020	18.08.2020
3	Крутой	12	10	18.08.2020	18.08.2020
4	Беленький	28	32	29.07.2020	18.08.2020
5	Верхний Ураков	95	88	14.08.2019	03.08.2018
6	Нижний Ураков	50	59	21.07.2011	07.07.2010
7	Залив без названия в 3,0 км к югу от залива Горноводяной	7	11	27.07.2020	14.08.2019
8	Родники	18	13	19.08.2020	14.08.2019
9	Местный Рубужный	46	41	19.08.2020	18.08.2020
10	Осиновый	10	14	19.08.2020	18.08.2020
11	Жилой	11	14	13.10.2012	11.08.2010
12	Сестренки	40	48	29.07.2020	18.08.2020
13	Гусева	9	11	27.10.2021	20.03.2019
14	Терновка	14	17	31.07.2008	17.08.2009
15	Сухая Речка	9	10	24.07.2008	17.08.2009
16	Даниловский	31	22	19.09.2010	20.07.2011
17	Байдаков Овраг	9	14	28.07.2008	15.07.2010
Левобережные заливы					
18	Кислово	54	48	30.07.2020	18.08.2020
19	Песчаный	7	7	27.06.2019	16.05.2019
20	Яблоновый	41	35	28.07.2020	18.08.2020
21	Карагачева Балка	8	8	17.07.2019	10.10.2018
22	Мордовский	17	17	14.07.2015	06.10.2016
23	Каранчев	7	7	25.07.2008	12.08.2009

Большая часть увеличивающихся кос зарастает ВВР гелофитной формы и травянистой растительностью. На правобережье водохранилища древесно-кустарниковые формации встречаются на всей надводной части пересыпи (Другалка, Рубежный, Верхний Дворной и др.).

4. *Заливы в завершающей стадии отделения.* Как правило, ААП здесь практически сформиро-

вана, нарастающие абразионно-аккумулятивные образования отмечаются с обеих сторон устьевого створа. Береговая отмель распространена в пределах всего входного створа залива. Здесь $0,90 \leq K_{\text{ААП}} \leq 0,99$ и $K_{\text{ОТМ}} \approx 0,00$.

Абразионно-аккумулятивные отмели во входных створах таких заливов динамично зарастают макрофитами (гелофитами и полностью погруженными

гидрофитами). Наблюдается зарастание большей части пересыпи ВВР, травянистой и древесно-кустарниковой растительностью. На левобережье древесно-кустарниковые формации на ААП встречаются только в верхней части.

5. *Закрытые заливы* с полностью сформированной абразионно-аккумулятивной пересыпью во входном створе (отчленившиеся от основной акватории водохранилища). Величина $K_{\text{ААП}} = 1,00$.

По космоснимкам отмечается зарастание пересыпи ВВР (гелофитами), травянистой и древесно-кустарниковой растительностью более чем на 70%.

В составе пятого класса следует выделить те заливы, которые сохраняют гидравлическую связь с водохранилищем за счет оттока воды из залива через узкий проран (русло, канал) поверх пересыпи. Подобный отток воды обусловлен тем, что уровень воды в заливе выше уровня воды Волгоградского водохранилища. Повышение уровня происходит за счет выхода подземных вод и фильтрации воды с основной акватории водоема через пересыпь (на ААП залива Жаркова и др.).

6. *Заливы, входные створы которых подверглись антропогенному воздействию*. Как правило, на побережьях заливов, принадлежащих данному классу, расположены населенные пункты. В пределах подобных заливов по спутниковым снимкам выявля-

ны водозаборные станции. ААП здесь формируются, но по снимкам наблюдается то нарастание, то значительное уменьшение пересыпи, то снова нарастание. По-видимому, это происходит вследствие расчистки входного створа и дноуглубления. В других случаях во входных створах было проведено берегоукрепление.

Пересыпи во входных створах заливов шестого класса расчищаются еще до того, как те успевают зарости ВВР и травянистой растительностью. Древесно-кустарниковые формации отмечаются только у бровки коренного берега.

Классификация заливов по степени отделения от основной акватории водоема и характерные примеры приведены в табл. 3 и на рис. 2, 3. На рис. 3А и 3Б хорошо видны абразионно-аккумулятивные образования во входных створах заливов. Для большей наглядности при отображении рельефа пересыпей мы несколько отступили от правил картографии и применили меньший интервал сечения, чем для отображения рельефа дна. В устьевом створе активно отделяющегося залива Рубежный помимо правобережной косы хорошо прослеживается и донный порог (см. рис. 3Б). Во входном створе залива Родники (см. рис. 3В) глубина значительная (более 14 м) и формирующаяся пересыпь практически не заметна на карте рельефа.

Таблица 3

Классификация заливов по степени отделения от основной акватории Волгоградского водохранилища и сформированности ААП во входном створе

Класс	Общее количество заливов (правобережье; левобережье)	Процент заливов от их общего количества, (правобережье; левобережье)	Наиболее характерные примеры
1	10 (9; 1)	5,1 (4,6; 0,5)	Пичуга, Ерзовка, Горная Пролейка, Еруслан
2	30 (25; 5)	15,1 (12,6; 2,5)	Байдаков Овраг, Даниловский, Яблоновский, Калиновская Балка
3	16 (10; 6)	8,1 (5,1; 3,0)	Гусева, Кислово, Рубежный, Беленький, Верхний Дворной
4	8 (1; 7)	4,0 (0,5; 3,5)	Мочаги, Карагачева Балка, Мордовский, Солонечный
5 ¹	123 (79; 44)	62,1 (39,9; 22,2)	Большой, Бирючья Балка, Томатный, Ростовый
5 ²	28 (22; 6)	14,1 (11,1; 3,0)	Разина, Бахченский Овраг-1, Кривоносова Балка, Жаркова
6	11 (6; 5)	5,6 (3,0; 2,5)	Дубовка, Татаркина, Котловый, Осадный

Примечания. ¹ Общее количество заливов 5-го класса.

² Заливы 5-го класса с наличием прорана на пересыпи.

ВЫВОДЫ

В результате выполненного исследования были сделаны следующие выводы:

1. В настоящее время абразионно-аккумулятивные пересыпи образуются во входных створах 94,9% заливов Волгоградского водохранилища. За-

крытыми заливами или заливами на завершающей стадии отделения являются 66,2% от их общего количества.

2. Сравнительный анализ полевых материалов и данных, полученных по спутниковым снимкам,

показал незначительное расхождение в полученных результатах. Разница абсолютных значений не превышает удвоенную среднюю квадратическую ошибку, что говорит о достоверности применяемого метода.

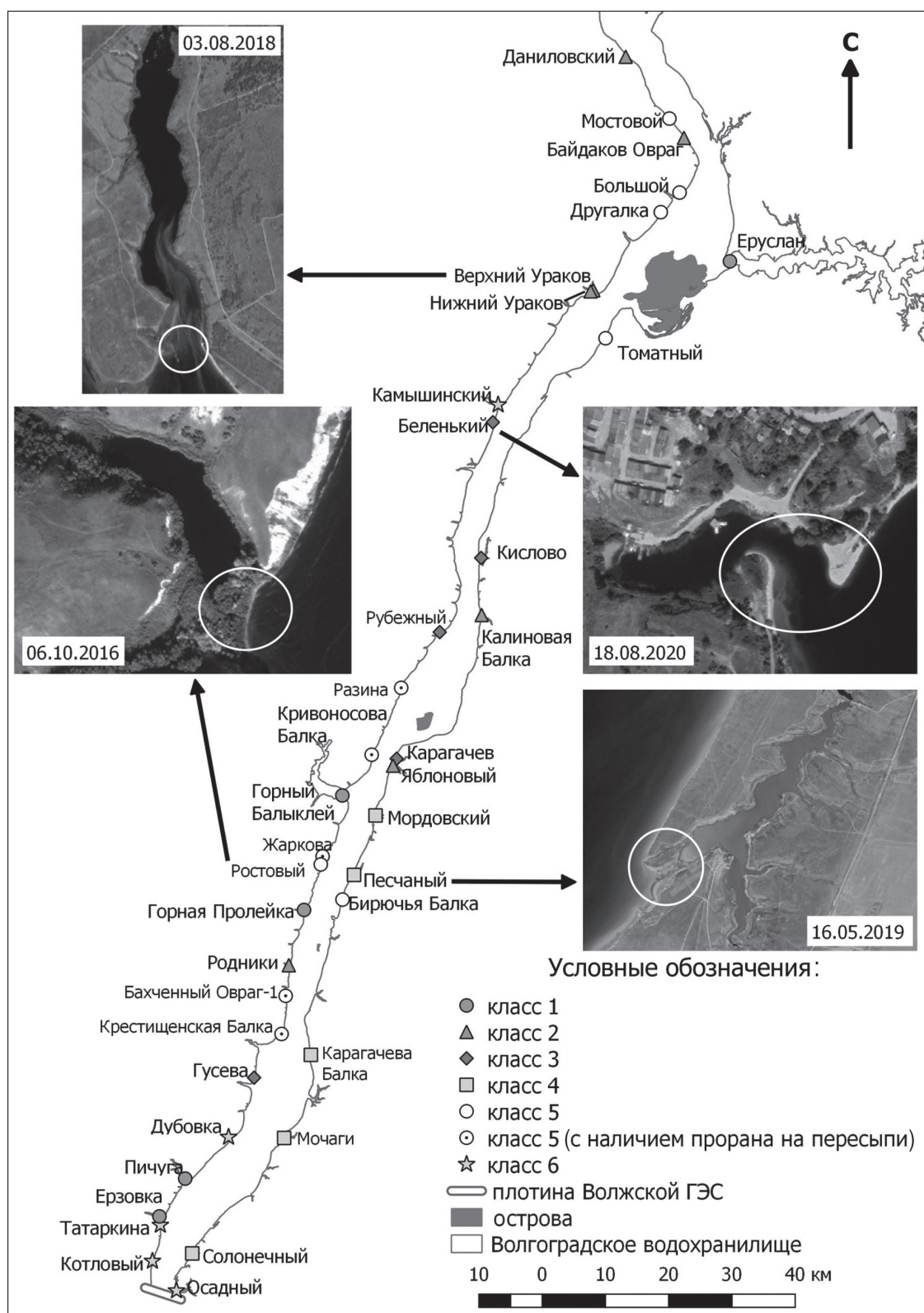


Рис. 2. Обзорная карта Волгоградского водохранилища с шестью классами заливов

Fig. 2. Overview map of the Volgograd reservoir with six classes of bays

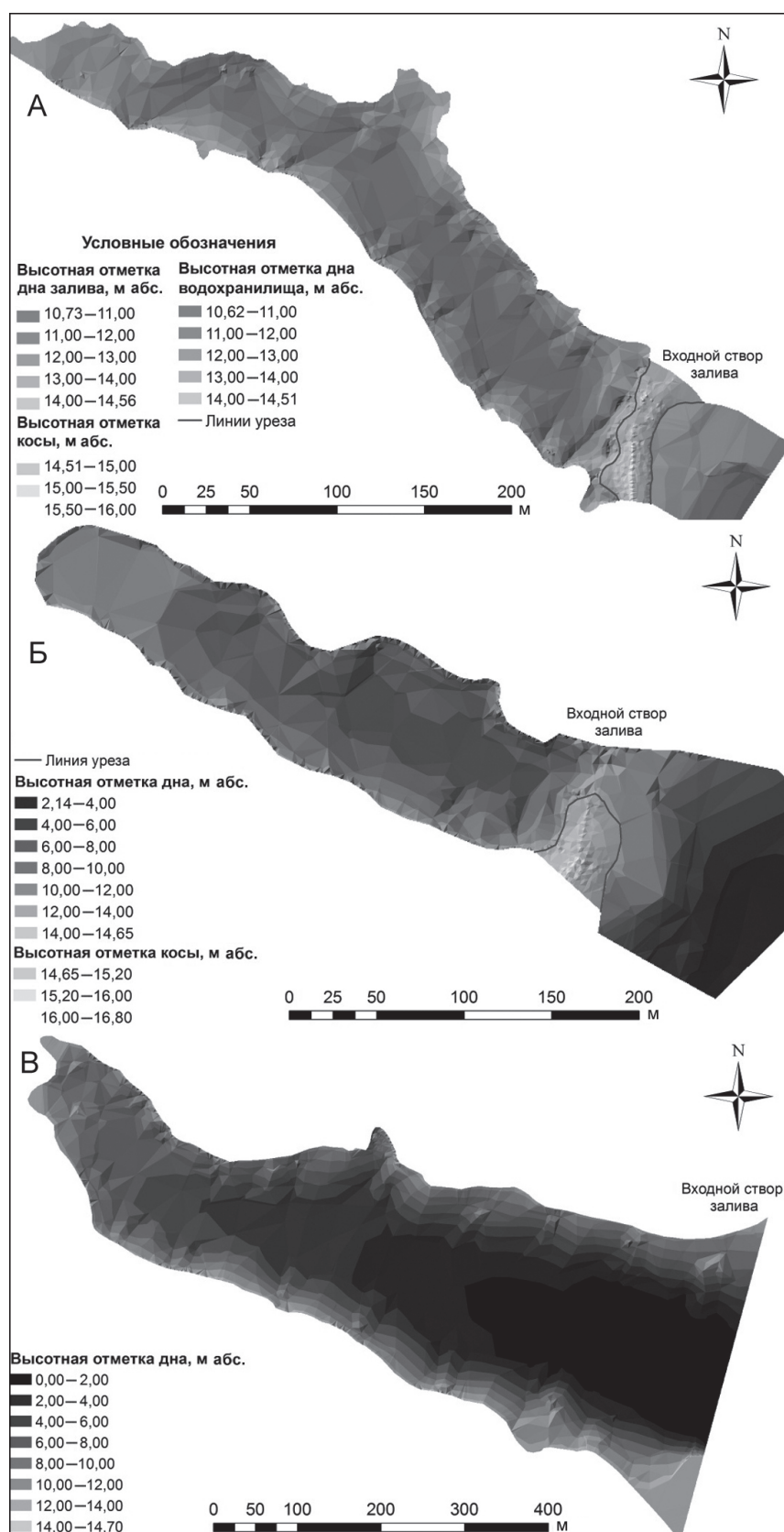


Рис. 3. Карты рельефа правобережных заливов водоема, полученные в ходе полевых исследований: А – Другалка, закрытый залив (13.08.2019); Б – Рубежный, залив в активной стадии отделения (24.07.2019); В – Родники, залив в начальной стадии отделения (19.08.2020). Высотные отметки рельефа приведены в Балтийской системе высот

Fig. 3. Relief maps of the right-coast bays of the reservoir, obtained during the field surveys: А – Drugalka, closed bay (13.08.2019); Б – Rubezhnyj, bay at the active stage of isolation (24.07.2019); В – Rodniki, bay at the initial stage of isolation (19.08.2020). Elevations of relief are given in the Baltic system of heights

3. В исследовании выделено шесть классов заливов по степени сформированности ААП во входном створе: открытые (класс 1), в начальной стадии отделения (2), в активной стадии отделения (3), в завершающей стадии отделения (4), закрытые (5) и особый класс – заливы, входные створы которых подвергались антропогенному воздействию (6). Величина $K_{\text{ААП}}$ у заливов класса 1 составляет 0,00, класса 2 – 0,01–0,30, класса 3 – 0,31–0,89, класса 4 – 0,90–0,99, класса 5 – 1,00.

4. Динамичное отделение залива начинается при $K_{\text{ААП}} > K_{\text{ОТМ}}$ и значениях $K_{\text{ААП}}$ равных 0,31–0,89. Активизация процесса отделения залива происходит при нарастании абразионно-аккумулятивной отдели в его входном створе.

5. При активизации процесса образования пересыпей наблюдается их быстрое зарастание высшей водной, травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

Благодарности. Полевые экспедиционные исследования заливов 2019–2020 гг. выполнены при финансовой поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-343002 р_мол_а «Закономерности формирования абразионно-аккумулятивных пересыпей во входных створах заливов озера Волгоградского водохранилища».

Авторы благодарят Волгоградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» за помощь в организации полевых экспедиционных исследований заливов, начиная с 2010 г.

Полученные научно-прикладные результаты вносят вклад в практическое изучение процессов, происходящих в природном аквальном комплексе, а именно процесса вдольберегового транспорта наносов и отделения заливов водоема; дают представление о формировании и динамике береговой зоны Волгоградского водохранилища. Результаты комплексного исследования заливов могут быть использованы при изучении процесса образования устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей заливов на других водохранилищах зоны недостаточного увлажнения России (Куйбышевское, Саратовское, Цимлянское).

Сделанная в данной работе классификация является начальным этапом комплексного исследования отделения заливов Волгоградского водохранилища и позволяет перейти к изучению закономерностей данного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Геолого-геоморфологическое строение Балтийской (Вислинской) косы // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 675–682.
- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Строение корневой части Куршской косы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2010. № 5. С. 53–59.
- Баранова М.С., Обьедкова О.А., Кочеткова А.И., Брызгалова Е.С. Экологическое состояние заливов озера Волгоградского водохранилища в условиях образования устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей // *Географическая среда и живые системы*. 2021. № 3. С. 34–53. DOI: 10.18384/2712-7621-2021-3-34-53.
- Брыксина Н.А. Изучение динамики береговой зоны Балтийского моря с использованием космических снимков // *Вестник Балтийского фед. ун-та им. И. Канта*. 2014. Вып. 1. С. 50–59.
- Вендров С.Л. О динамике береговой зоны Цимлянского водохранилища // *Известия АН СССР. Серия географическая*. 1955. № 25. С. 16.
- Вендров С.Л. О русловых процессах на больших водохранилищах (по материалам наблюдений 1952–1955 гг. на Цимлянском водохранилище) // *Русловые процессы*. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 228–248.
- Дмитриева Е.Е., Макаренко С.А. Использование ДЗЗ для оценки состояния водных объектов // *Модели и технологии природообустройства (региональный аспект)*. 2020. № 2(11). С. 85–91.
- Законнов В.В., Законнова А.В., Цветков А.И., Шершнев Н.Г. Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // *Труды ИБВВ РАН*. 2018. Вып. 81(84). С. 35–46. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-10004.
- Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
- Изучение физико-геологических процессов на побережьях и берегах водохранилищ по аэроснимкам / Баранова А.И. и др. Л.: Наука, 1967. 283 с.
- Калужная Н.С., Калужная И.Ю., Хоружая В.В., Самотеева В.В., Сохина Э.Н. Опыт изучения состояния нерестилищ верхнего плеса Цимлянского водохранилища с использованием ГИС: материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2017. Т. 23(1). С. 308–322. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-308-322.
- Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.
- Козырева Е.А., Кадетова А.В., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Тарасова Ю.С. Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 4. С. 453–465, DOI: 10.31857/S0321059620040070.
- Косьян Р.Д., Косьян А.Р., Крыленко В.В., Федорова Е.А. Состав и распределение осадков Анапской пересыпи // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 2. С. 302–314. DOI: 10.31857/S0030157420020057.

- Кравцова В.И., Шуматиев В.В. Новые подходы к обработке разновременных космических снимков на примере исследования динамики дельты Урала // Геоинформатика. 2005. № 3. С. 52–61.
- Курузов А.В. Использование современных и архивных данных ДЗЗ для ГИС мониторинга околосоводных экосистем // Трансформация экосистем. 2018. № 1(1). С. 86–90. DOI: 10.23859/estr180209.
- Леонтьев И.О. О расчете вдольберегового транспорта наносов // Океанология. 2014. Т. 54. № 2. С. 226–232.
- Леонтьев И.О., Акивис Т.М. Моделирование динамики берегов Анапской пересыпи // Океанология. 2020. Т. 60. № 2. С. 315–322. DOI: 10.31857/S0030157420020069.
- Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 418 с.
- Назаров Н.Н., Никонорова И.В., Филиппов О.В., Фролова И.В. Крупные аккумулятивные образования береговых зон водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы: сб. трудов. М.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. С. 199–207.
- Назаров Н.Н., Тюнякин Д.Г., Фролова И.В., Черепанов А.В. Морфолитогенез в зоне вдольберегового переноса наносов на Камском водохранилище // Географический вестник. 2013. № 1(24). С. 33–39.
- Орлова Е.В. Применение ГИС-технологий для получения гидрологических характеристик водосбора Вилюйского водохранилища // География и природные ресурсы. 2008. Вып. 3. С. 134–139.
- Потахин М.С., Зобков М.Б., Гурбич В.А. Разработка и применение цифровой модели рельефа котловины и водосбора Онежского озера // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VI Международной научно-практической конференции (г. Пермь, 29 мая – 1 июня 2017 г.). 2017. Т. 1. С. 140–145.
- Пышкин Б.А., Максимчук В.Л., Цайтц В.Л. Исследование вдольберегового движения наносов на морях и водохранилищах. Киев: Наукова Думка, 1967. 142 с.
- Ступин В.П. Анализ возможностей использования данных Google Earth в интересах мониторинга динамики морфосистем зоны влияния каскада ангарских водохранилищ // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. 2011. № 8. С. 46–54.
- Филиппов О.В., Золотарев Д.В., Солодовников Д.А. Экологические проблемы заливов и устьевых притоков Волгоградского водохранилища в условиях абразии и вдольберегового транспорта наносов // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища: сб. науч. ст. Волгоград: Волгоград. науч. изд-во, 2009. С. 119–142.
- Хабидов А.Ш., Жиндарев Л.А., Тризно А.К. Динамические обстановки рельефообразования и осадконакопления береговой зоны крупных водохранилищ. Новосибирск: Наука, 1999. 192 с.
- Хомчановский А.Л. Моделирование литодинамических процессов на аккумулятивных берегах (на примере оз. Байкал, островной бар Ярки): дис. ... канд. геогр. наук. Петропавловск-Камчатский, 2021. 191 с.
- Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 240 с.
- Bagnold R.A. Sand movement by waves: some small-scale experiments with sand of very low density, *Journal of the Institution Civil Engineers*, 1947, no. 5554, 27, p. 447–469.
- Banach M. Morfodynamika strefy brzegowej zbiornica Włocławek, Wrocław, Warszawa, Kraków, Prace Geograficzne IGI PAN, 1994, 180 p.
- Hemmingsena M., Eikaas H., Marsdena D. A GIS approach to sediment displacement in mixed sand and gravel beach environments, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 249, iss. 1, p. 109083, DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.141.
- Lopez-Ruiz A., Ortega-Sanchez M., Baquerizo A., Losada M.A. A note on alongshore sediment transport on weakly curvilinear coasts and its implications, *Coastal Engineering*, 2014, vol. 88, p. 143–153, DOI: 10.1016/j.coastaleng.2014.03.001.
- Jarmalavičius D., Žilinskas G., Pupienis D. Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania, *International Journal of Sediment Research*, 2017, vol. 32, iss. 4, p. 597–603, DOI: 10.1016/j.ijsrc.2017.07.006.
- Johnson D. Shore processes and shoreline development, New York, John Wiley and Sons, Inc, 1919, 584 p.
- Valiente N.G., Masselink G., McCarroll R.J., Scott T., Conley D., King E. Nearshore sediment pathways and potential sediment budgets in embayed settings over a multi-annual timescale, *Marine Geology*, 2020, vol. 427, p. 106270, DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106270.

Электронные ресурсы

- Космическая съемка СКАНЭКС. URL: <https://www.scanex.ru/data/satellites/> (дата обращения 20.12.2021).
- Ouillon S. Why and How Do We Study Sediment Transport? Focus on Coastal Zones and Ongoing Methods, *Water*, 2018, vol. 390, no. 10(4), URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/390/htm> (дата обращения 10.02.2020), DOI: 10.3390/w10040390.
- Google Планета Земля. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/> (дата обращения 12.02.2022).
- Maxar – поиск и обнаружение архивов. URL: <https://discover.digitalglobe.com/> (дата обращения 20.12.2021).

Поступила в редакцию 21.02.2022

После доработки 15.08.2022

Принята к публикации 01.12.2022

STAGES OF BARRIERS FORMATION IN THE ENTRANCE GATES OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR BAYS

M.S. Baranova¹, O.V. Filippov², A.I. Kochetkova³, E.S. Bryzgalina⁴

¹⁻⁴ Volzhskiy branch of the Volgograd State University

¹ Educational and scientific laboratory of regional systems researching, Staff Member;
e-mail: maria_baranova2902@rambler.ru

² Department of mathematics, informatics and natural sciences, Associate Professor, Ph.D. in Geography;
e-mail: oyfilippov@list.ru

³ Department of Mathematics, informatics and natural sciences, Associate Professor, Ph.D. in Biology;
e-mail: aikochetkova@mail.ru

⁴ Department of mathematics, informatics and natural sciences, Senior Lecturer; e-mail: bryzgalina_elena@mail.ru

The secondary processes of alongshore transport and accumulation of sediments are the consequences of reshaping the shores of the Volgograd Reservoir. Alongshore sediment transfer promoted the segregation of bays from the main water area of the Volgograd Reservoir with abrasion-accumulative barriers. Classification of the bays according to the degree of evolution of abrasion-accumulative barriers in their entrance gates is the initial stage of complex research which is necessary to reveal the main patterns of the separation process. Application of the Earth remote sensing data and geoinformation technologies is the most effective to study the process in addition to field methods. The study is based on the satellite imagery of Google Earth program and data of field research of the bays in 2008, 2010–2016 and 2019–2020. Both analytical (cartographic, graphical, mathematical methods and methods of working with satellite images) and field (geometric leveling of abrasion-accumulative barriers and spits, and bathymetric survey of bays) research methods were applied. Morphometric parameters of the entrance gates to the bays of right and left coast of the Volgograd Reservoir were measured using the satellite images of Google Earth. Expedition materials and data received from satellite images were then compared. The difference in absolute values does not exceed double standard error. This indicates the reliability of applied research method. We calculated two coefficients for classification of bays. These coefficients considered width of the bay at the entrance gate, width of the coastal shallow water area at the entrance gate and length of above-water part of a sand bar or spit. Six classes of bays were identified according to the degree of evolution of abrasion-accumulative barriers at the entrance gates: opened bays (class 1), bays at the initial stage of segregation (2), bays at the active stage of segregation (3), bays at the final stage of segregation (4), closed bays, (5) and a specific class – bays with the entrance gates subjected to anthropogenic impact (6). The bay segregation becomes more active with the expansion of the coastal shallow water area at its entrance gate. Quick overgrowth by higher aquatic, herbaceous and tree-shrub vegetation takes place under the active formation of abrasion-accumulative barriers.

Keywords: abrasion-accumulative barriers, alongshore transport of sediments, satellite imagery, classification

Acknowledgements. Field survey of bays in 2019–2020 was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Volgograd region (project 19-45-343002 r_mol_a “The patterns of formation of abrasion-accumulative barriers in the entrance gates of bays of the lake area of the Volgograd reservoir”).

Authors thank the Volgograd Center of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, a branch of the Federal State Budgetary Institution “North Caucasian Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, for the assistance in organizing field surveys of bays since 2010.

REFERENCES

- Badjukova E.N., Zhindarev L.A., Luk'janova S.A., Solov'eva G.D. Geologo-geomorfologicheskoe stroenie Baltijskoj (Vislinskoj) kosy [Geological and geomorphological structure of the Baltic (Vistula) Spit], *Okeanologija*, 2010, vol. 51, no. 4, p. 675–682. (In Russian)
- Badjukova E.N., Zhindarev L.A., Luk'janova S.A., Solov'eva G.D. Stroenie kornevoj chasti Kurshskoj kosy [The structure of the root part of the Curonian Spit], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2010, no. 5, p. 53–59. (In Russian)
- Bagnold R.A. Sand movement by waves: some small-scale experiments with sand of very low density, *Journal of the Institution Civil Engineers*, no. 5554, 27, 1947, p. 447–469.
- Banach M. *Morfodynamica strefy brzegowej zbiornica Włocławek*, Wrocław, Warszawa, Kraków, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 1994, 180 p. (In Polish)
- Baranova M.S., Obedkova O.A., Kochetkova A.I., Bryzgalina E.S. Ekologicheskoe sostojanie zalivov ozernogo uchastka Volgogradskogo vodohranilishha v uslovijah obrazovanija ust'evyh abrazionno-akkumuljativnyh peresypej [Ecological state of bays of the lake area in the Volgograd reservoir under formation of mouth abrasion-accumulative barriers], *Geographical Environment and Living Systems*, 2021, no. 3, p. 34–53, DOI: 10.18384/2712-7621-2021-3-34-53. (In Russian)

- Bryksina N.A. Izuchenie dinamiki beregovoy zony Baltijskogo morja s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov [Studying the dynamics of the coastal zone of the Baltic Sea using satellite images], *Vestn. Baltijskogo fed. Un-ta im. I. Kanta*, 2014, vol. 1, p. 50–59. (In Russian)
- Dmitrieva E.E., Makarenko S.A. Ispol'zovanie DZZ dlja ocenki sostojaniya vodnykh ob'ektov [Using remote sensing data to assess the state of water objects], *Modeli i tehnologii prirodoobustroystva (regional'nyj aspekt)*, 2020, no. 2(11), p. 85–91. (In Russian)
- Filippov O.V., Zolotarev D.V., Solodovnikov D.A. [Ecological problems of bays and estuarial tributaries of the Volgograd reservoir in conditions of abrasion and alongshore sediment transport], *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodohranilishha* [Problems of a comprehensive study of the Volgograd reservoir], 2009, p. 119–142. (In Russian)
- Habidov A.Sh., Zhindarev L.A., Trizno A.K. *Dinamicheskie obstanovki rel'efoobrazovaniya i osadkonakopleniya beregovoy zony krupnykh vodohranilishh* [Dynamic conditions of relief formation and sedimentation of the coastal zone of large reservoirs], Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 192 p. (In Russian)
- Hemmingsena M., Eikaas H., Marsden D. A GIS approach to sediment displacement in mixed sand and gravel beach environment, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 249, iss. 1, p. 109083, DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.141.
- Homchanovskij A.L. *Modelirovanie litodinamicheskikh processov na akkumulativnykh beregah (na primere oz. Bajkal, ostrovnogo bar Jarki)* [Modeling of lithodynamic processes on accumulative coasts (on the example of Baikal Lake, island bar Yarki)], Ph.D. Thesis in Geography, Petropavlovsk-Kamchatskij, 2021, 191 p. (In Russian)
- Jarmalavičius D., Žilinskas G., Pupienis D. Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania, *International Journal of Sediment Research*, 2017, vol. 32, iss. 4, p. 597–603, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.07.006>.
- Johnson D. Shore processes and shoreline development, New York, John Wiley and Sons, Inc. 1919, 584 p.
- Kalyuzhnaya N.S., Kalyuzhnaya I.Yu., Khoruzhaya V.V., Samoteeva V.V., Sokhina E.N. [GIS-based experience of investigation the status of spawning areas within the upper section of the Tsimlyansk reservoir], *InterKarto. InterGIS: Materialy mezhdunarodnoj konferencii* [InterKarto. InterGIS: Materials of the international conference], 2017, vol. 23(1), p. 308–322, DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-308-322. (In Russian)
- Kaplin P.A., Leont'ev O.K., Luk'janova S.A., Nikiforov L.G. *Berega* [Coasts], Moscow, Mysl' Publ., 1991, 479 p. (In Russian)
- Kos'jan R.D., Kos'jan A.R., Krylenko V.V., Fedorova E.A. Distribution and composition of Anapa bay-bar sediments, *Oceanology*, 2020, vol. 60, no. 2, p. 267–278, DOI: 10.31857/S0030157420020057.
- Kozyreva E.A., Kadetova A.V., Rybchenko A.A., Pelling V.A., Svetlakov A.A., Tarasova Ju.S. Typification and the current state of the Baikal Lake shore, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 4, p. 651–662, DOI: 10.31857/S0321059620040070.
- Kravcova V.I., Shumatiev V.V. Novye podhody k obrabotke raznovremennykh kosmicheskikh snimkov na primere issledovaniya dinamiki del'ty Urala [New approaches to multi-temporal space imagery processing (case study of studying the dynamics of the Ural River delta)], *Geoinformatics*, 2005, no. 3, p. 52–61. (In Russian)
- Kutuzov A.V. Ispol'zovanie sovremennykh i arhivnykh dannykh DZZ dlja GIS monitoringa okolo vodnykh ekosistem [Use of modern and archival remote sensing data for GIS monitoring of near-water ecosystems], *Transformacija ekosistem*, 2018, no. 1(1), p. 86–90, DOI: 10.23859/estr180209. (In Russian)
- Leont'ev I.O. Calculation of longshore sediment transport, *Oceanology*, 2014, vol. 54, no. 2, p. 205–211.
- Leont'ev I.O., Akivis T.M. Modeling the coastal dynamics of the Anapa bay-bar, *Oceanology*, 2020, vol. 60, no. 2, p. 279–285, DOI: 10.31857/S0030157420020069.
- Leontev O.K. *Osnovy geomorfologii morskikh beregov* [Fundamentals of geomorphology of the seashore], Moscow, Moscow University Publishing House, 1961, 418 p. (In Russian)
- Nazarov N.N., Nikonorova I.V., Filippov O.V., Frolova I.V. [Large accumulative formations of coastal zones of reservoirs], *Erozionnye i ruslovye processy* [Erosion and channel processes], 2015, no. 6, p. 199–207. (In Russian)
- Nazarov N.N., Tjunjatkin D.G., Frolova I.V., Cherepanov A.V. Morfolitogenez v zone vdol' beregovogo perenosnana Kamskom vodohranilishhe [Morpholithogenesis in the zone of alongshore sediment transport in the Kama reservoir], *Geographical Bulletin*, 2013, no. 1(24), p. 33–39. (In Russian)
- Orlova E.V. Primenenie GIS-tehnologij dlja poluchenija gidrologicheskikh harakteristik vodosbora Viljujskogo vodohranilishha [The use of GIS technologies in obtaining hydrological characteristics for the drainage area of the Vilyui Reservoir], *Geografija i prirodnye resursy*, 2008, iss. 3, p. 134–139. (In Russian)
- Potakhin M.S., Zobkov M.B., Gurbich V.A. [The development and application of digital elevation of the lake Onego basin and catchment area], *Trudy VI MNPK "Sovremennye problemy vodohranilishh i ih vodosborov"* [Proceedings of VI International Scientific Practical Conference "Modern problems of reservoirs and their catchments"], 2017, vol. 1, p. 140–145. (In Russian)
- Pyshkin B.A., Maksimchuk V.L., Cajtc V.L. *Issledovanie vdol' beregovogo dvizheniya nanosov na morjah i vodohranilishhah* [Research of the alongshore movement of sediments in the seas and reservoirs], Kiev, Naukova Dumka Publ., 1967, 142 p. (In Russian)
- Shujskij Ju.D. *Problemy issledovaniya balansa nanosov v beregovoj zone morej* [Problems of studying the sediments balance in the coastal zone of the seas], *Gidrometeoizdat*, 1986, 240 p. (In Russian)
- Stupin V.P. Analiz vozmozhnostej ispol'zovaniya dannykh Google Earth v interesah monitoringa dinamiki morfo-sistem zony vlijanija kaskada angarskikh vodohranilishh [Analysis of the possibilities of using Google Earth data in the interests of monitoring the dynamics of morphosystems in the zone of influence of the Angara reservoir cascade], *Vestn. Irkutskogo gos. tekhnicheskogo un-ta*, 2011, no. 8, p. 46–54. (In Russian)
- Valiente N.G., Masselink G., McCarroll R.J., Scott T., Conley D., King E. Nearshore sediment pathways and potential sediment budgets in embayed settings over a multi-annual timescale, *Marine Geology*, 2020, vol. 427, p. 106270, DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106270.
- Vendrov S.L. [About channel processes in large reservoirs (based on observations of 1952–1955 for the Tsimly-

- ansk reservoir)], *Ruslovyje processy* [Channel processes], 1958, p. 228–248. (In Russian)
- Vendrov S.L. O dinamike beregovoj zony Cimljanskogo vodohranilishha [About the dynamics of the Tsimlyansk reservoir coastal zone], *Izvestija AN SSSR, Serija geograficheskaja*, 1955, no. 25, p. 16 (In Russian)
- Zakonov V.V., Zakonova A.V., Tsvetkov A.I., Sherysheva N.G. Gidrodinamicheskoe processy i ih rol' v formirovanii donnyh osadkov vodohranilishh Volzhsko-Kamskogo kaskada [Hydrodynamic processes and their role in the formation of bottom sediments of the reservoirs of the Volga-Kama cascade], *Trudy IBVV RAN*, 2018, iss. 81(84), p. 35–46, DOI: 10.24411/0320-3557-2018-10004. (In Russian)
- Zenkovich V.P. *Osnovy uchenija o razvitii morskikh beregov* [Fundamentals of the doctrine about the evolution of sea coasts], Moscow, Publ. Akademii nauk SSSR, 1962, 710 p. (In Russian)
- Web sources*
- Kosmicheskaya s"emka SKANEKS [Space imagery SCANEX], URL: <https://www.scanex.ru/data/satellites/> (access date 20.12.2021). (In Russian)
- Ouillon S. Why and How Do We Study Sediment Transport? Focus on Coastal Zones and Ongoing Methods, *Water*, 2018, vol. 390, no. 10(4), URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/390/htm> (access date 10.02.2020), DOI: 10.3390/w10040390.
- Google Earth, URL: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/> (access date 02/12/2022).
- Maxar – search and discovery of archives, URL: <https://discover.digitalglobe.com/> (access date 12/20/2021).

Received 21.02.2022

Revised 15.08.2022

Accepted 01.12.2022