

УДК 504.455; 551.435.326

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ АБРАЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПЕРЕСЫПЕЙ ЗАЛИВОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ИНДИКАТОР НАНОСОФОРМИРУЮЩИХ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ

© 2023 г. М. С. Баранова^{1, *}, О. В. Филиппов^{1, **}, Е. С. Брызгалина^{1, ***}, А. И. Кочеткова^{1, ****}

¹Волжский филиал Волгоградского государственного университета, Волжский, Россия

*e-mail: maria_baranova2902@rambler.ru

**e-mail: ovfilippov@list.ru

***e-mail: bryzgalina_elena@mail.ru

****e-mail: aikochetkova@mail.ru

Поступила в редакцию 05.09.2022 г.

После доработки 20.10.2022 г.

Принята к публикации 03.11.2022 г.

Отделение заливов от основной акватории Волгоградского водохранилища абразионно-аккумулятивными пересыпями, возникающее вследствие вдольберегового переноса наносов, является в настоящее время одной из региональных проблем. Гранулометрический состав характеризует перемещение слагающих пересыпи наносов под воздействием вдольбереговых течений. По материалам 2019–2020 гг. были определены гранулометрические параметры пересыпей и сделан оценочный расчет нанософормирующих скоростей течения. Изучено 82 образца 24 заливов право- и левобережья. Применялись полевые (отбор проб наносов, визуальная характеристика литологического состава берега) и аналитические методы исследования (гранулометрический анализ, графический и математические методы). Установлено, что в строительстве абразионно-аккумулятивных пересыпей принимают участие наносы размером от 100–50 мм (крупная галька) до 0.05 мм и менее (мелкие пылеватые частицы). Все изученные фракции оказались окатанными или хорошо окатанными, что дает основание причислять их к наносам. Существуют отличия гранулометрического состава наносов пересыпей на право- и левобережье водоема. В составе наносов пересыпей правобережных заливов в одних случаях господствует крупная (100–50 мм) и средняя галька (50–20 мм), в других – средняя (0.5–0.2 мм) и мелкая фракция песка (0.2–0.1 мм). В составе наносов пересыпей левобережных заливов преобладает средняя фракция песка (0.5–0.2 мм), отмечены частицы размером менее 0.05 мм. Скорости течения, формирующие пересыпи, составляют на правобережье водоема от 0.47 до 3.45 м/с, на левобережье – от 0.47 до 1.63 м/с. Пробы наносов устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей имеют разную степень сортировки (1.13–14.40), что свидетельствует о различиях в скоростях течений, формирующих данные формы рельефа в разные временные периоды. Гранулометрический состав наносов является косвенным признаком динамики уже сформированной пересыпи и индикатором наносообразующих скоростей течения. Седиментация наносов на Волгоградском водохранилище происходит на близком расстоянии от источника их поступления.

Ключевые слова: заливы, гранулометрия, литология, абразионно-аккумулятивные пересыпи, скорости течения, интегральные кривые, Волгоградское водохранилище

DOI: 10.31857/S2587556623010041, EDN: LEYJYA

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. В результате воздействия процесса вдольберегового переноса материала происходит формирование относительно устойчивых аккумулятивных тел в непосредственной близости от берега (Законнов и др., 2018; Захаров, Алексеев, 2012;

Филиппов, 2004; Vagnold, 1947; Grottoli et al., 2019; Ouillon, 2018; и др.).

В настоящее время исследований, посвященных вопросам современного накопления наносов в прибрежной зоне водоемов, сравнительно немного. На водохранилищах процесс отделения заливов остается практически не изученным. Исключения составляют отдельные исследования Куйбышевского (Баранова и др., 1967; Зубенко, 1962), Цимлянского (Баранова и др., 1967; Вендров,

1958), Камского и Воткинского (Назаров и др., 2013) водохранилищ.

Перекрытие устьевых створов заливов абразионно-аккумулятивными пересыпями (ААП) активно развивается на Волгоградском водохранилище, образованном с возведением плотины ГЭС на р. Волге у Волгограда в 1958 г. Процесс отделения заливов был начат еще при наполнении чаши водоема до НПУ (1961), когда переработка берегов происходила наиболее ускоренно (Филиппов, 2004). По условиям гидрологического режима и особенностям морфологического строения ложа и берегов водохранилища подразделяется на три участка: озерный (Волжская ГЭС—пос. Ровное), озерно-речной (пос. Ровное—г. Маркс) и речной (г. Маркс—Саратовская ГЭС). Особенно динамично процесс развивается на озерном участке водоема.

Отделение заливов пересыпями является негативным процессом для экосистемы водохранилища. Он приводит к потере ряда заливов водоема как части кормовой базы, зон нереста, нагула молодежи гидробионтов и экологической среды их обитания (Филиппов, 2004).

Гранулометрический состав наносов определяет характеристики их фракционного перемещения под воздействием волн и течений. Особенности дифференциации материала наносов в зоне пляжа и в приустьевой полосе определяются местами расположения источников поступления, направлением вдольберегового перемещения наносов (Гуров, 2018; Гуров и др., 2019; Чалов, Ефимов, 2021). Гранулометрический состав донных и пляжевых отложений береговых аккумулятивных форм является достаточно “консервативным” параметром с одной стороны, а с другой — динамически активным. Анализ закономерностей формирования пространственных особенностей гранулометрического состава в различных морфологических частях изучаемой аккумулятивной формы рельефа может дать информацию о характере и взаимосвязях процессов, определяющих ее трансформацию; современном рельефе и морфологии, их динамике и устойчивости к изменениям внешних условий (Крыленко В.В., Крыленко М.В., 2014; Hegde et al., 2021; Jarmalavičius et al., 2017; Zhuk et al., 2017). Наносы представляют важным компонентом водных экосистем, являясь продуктом седиментации органического и неорганического материала (Мясникова, Потахин, 2021).

Размерные фракции наносов дают четкое представление о скоростях течения, формирующих устьевые абразионно-аккумулятивные пересыпи заливов, и помогают выявить основные закономерности их образования и развития. Анализ гранулометрического состава абразионно-аккумулятивных отмелей участков многолетних наблюдений за переформированием берегов Волгоградского

водохранилища был впервые проведен О.В. Филипповым (2004). Размеры частиц наносов на отмели варьировали в зависимости от ряда причин (например, повторяемости штормов и направления ветра). Зона волноприбоя (включая пляж, урез и приустьевую часть отмели) является своеобразным сепаратором гранулометрической дифференциации наносов. Из нее полностью удаляются частицы, которые скорости волноприбойных течений способны привести в состояние взвеси. В основном в формировании отмели принимают участие песчаные фракции с размером частиц наносов 0.32–0.13 мм; часть песчаных фракций может выноситься за пределы отмели (Филиппов, 2004). В настоящем исследовании мы сделали анализ гранулометрического состава пересыпей как составной части отмели.

Целью исследования стало вычисление скоростей течений, формирующих устьевые абразионно-аккумулятивные пересыпи заливов Волгоградского водохранилища на основе анализа гранулометрического состава наносов.

Задачи исследования:

1. Провести гранулометрический анализ проб наносов устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей и кос.
2. Определить степень окатанности образцов наносов.
3. Выявить принципиальные отличия в гранулометрическом составе наносов на право- и левобережье водоема.
4. Построить интегральные кривые и определить по ним диаметр частиц наносов 5, 10, 25, 50, 75, 90 и 95%-й обеспеченности.
5. Рассчитать коэффициент сортировки S_0 и определить степень сортировки материала абразионно-аккумулятивных кос и пересыпей.
6. Рассчитать скорости течений, формирующих структуру абразионно-аккумулятивных пересыпей.
7. Вычислить скорости транспортировки и определить расстояние, на которое переносятся влекаемые наносы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования послужили пробы наносов устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей и кос, взятые в летний период 2019–2020 гг. Образцы отбирались с гребня пересыпи или косы, с уреза водохранилища и залива, а также в отмелой части в 20 м от берега. Всего проанализировано 82 пробы 24 заливов (рис. 1). На каждом объекте было взято от 2 до 5 проб в зависимости от однородности слагающего пересыпь материала.

В работе использованы полевые и аналитические методы исследования. Полевые включали в

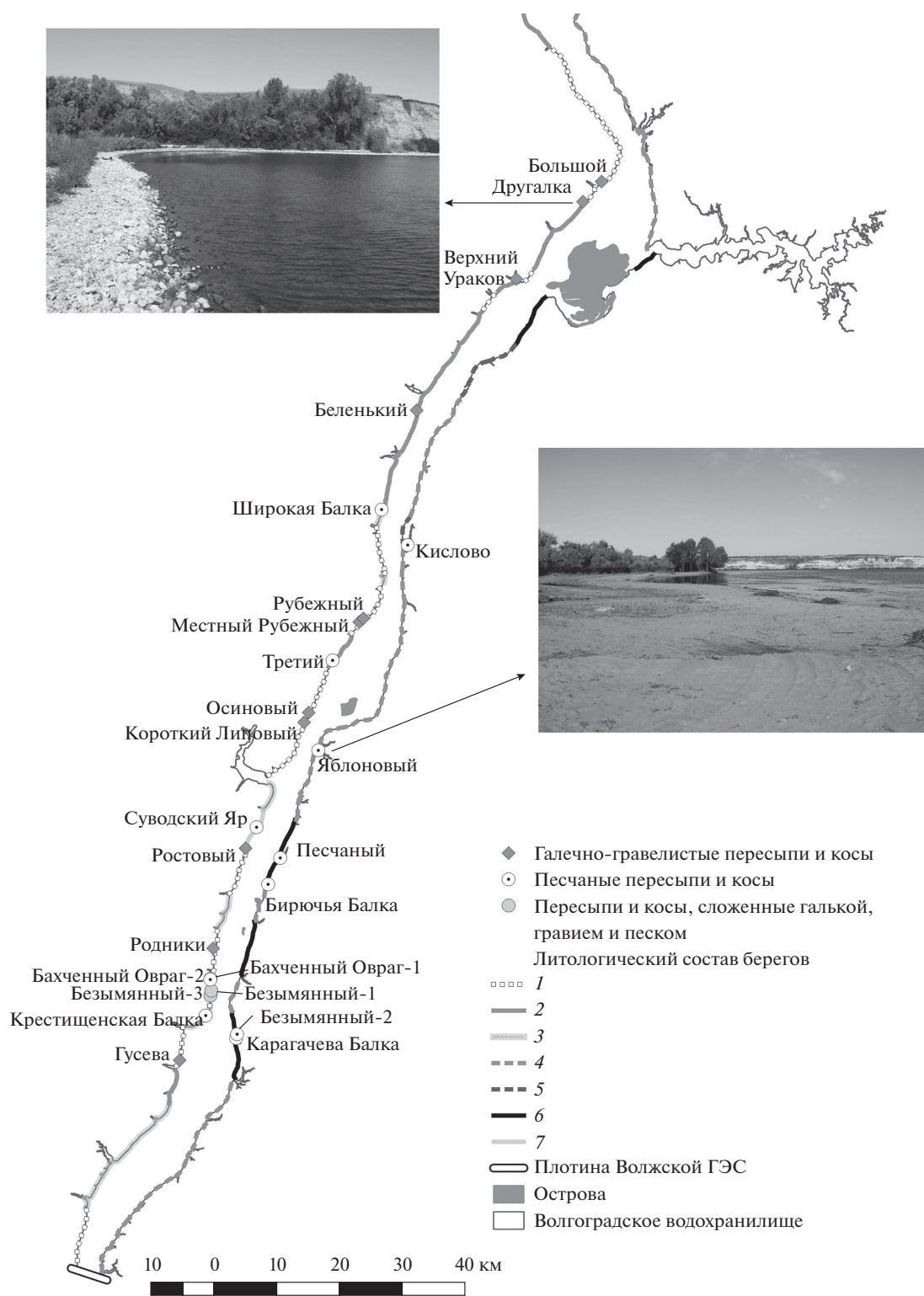


Рис. 1. Преобладающая фракция наносов пересыпей и литологический состав берегов Волгоградского водохранилища: 1 – опоки, песчаники (в том числе опокovidные и кремнистые), опокovidные глины; 2 – суглинки, песчаные глины с опоками и опокovidными песчаниками в нижней части; 3 – слабо уплотненные пески и песчаники с тонкими пластами глин; 4 – супеси, суглинки, местами выходы хвалынских глин; 5 – суглинки, супеси, местами выходы песка и хвалынских глин; 6 – хвалынские шоколадные глины и суглинки под маломощным слоем песка; 7 – белые пески и серые песчаники на контакте с пластом ржавого песка.

Составлено авторами на основе данных Е.В. Милановского (1940), А.И. Барановой (1964), А.В. Сидоренко (1967) и др. и собственных материалов 2019–2020 гг. (Baranova, 2019 и др.).

себя: отбор проб наносов на гранулометрический анализ, визуальную характеристику литологического состава берега вблизи входного створа залива. Аналитические методы: гранулометрический анализ, графический и математические методы, в том числе метод математической статистики.

Гранулометрический анализ проб наносов проводился ситовым способом с использованием комплекта сит лабораторных из набора КСИ (размером 5–0.05 мм) и методом обмера частиц вручную с помощью линейки (размером более 5 мм). Анализ проводился по ГОСТ 12536-2014 (2019) и по Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам 1978 г.¹ В соответствии с тем же «Наставлением» 1978 г. проведена классификация наносов по размерам частиц.

Статистическая обработка полученных данных проведена по интегральным кривым в программе Microsoft Excel и с помощью метода квартилей, представленного П. Траском (1932). Последний является одним из способов количественной оценки статистических характеристик частиц наносов по размерам. Общее число гранулометрических фракций описывается тремя значениями: M_d – медиана, Q_1 – первая и Q_3 – третья квартиль. На интегральной кривой через ординаты строят горизонтальные линии, соответствующие диаметру частиц 25, 50, 75% обеспеченности, пока они не пересекутся с кумулятивной кривой. Коэффициент сортировки S_0 показывает уровень однообразия частиц данной совокупности, а медиана M_d – среднюю величину частиц наносов (Мясникова, Потахин, 2021). Коэффициент сортировки рассчитан по формуле:

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}},$$

где S_0 – коэффициент сортировки;

Q_1 и Q_3 – первая и третья квартиль соответственно.

Степень окатанности частиц наносов (K_o) была определена по формуле Р.Д. Рассела и Р.Е. Тейлора (1937) в интерпретации Ф. Дж. Петтиджона (1981):

$$K_o = \frac{0n_0 + 1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4}{\sum n} \times 25,$$

где K_o – степень окатанности частиц, %;

0, 1 ... 4 – баллы окатанности;

¹ ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019; Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 384 с.

$n_0, n_1 \dots n_4$ – число зерен, обладающих соответствующим баллом;

n – общее число зерен.

В зависимости от способа транспортировки наносы подразделяются на взвешенные, переносимые течениями во взвешенном состоянии, и влекомые, перемещаемые в придонном слое потока путем перекачивания, скольжения и сальтации (Караушев, 1977; Шамоу, 1959). Как указано выше, из зоны волноприобоя к внешнему краю отмели удаляются частицы, приводимые течениями в состояние взвеси. У уреза остаются наносы, большей частью переносимые потоком во влекомом состоянии. Поэтому расчет скоростей, образующих прибрежные формы рельефа, проведен нами для влекомых наносов.

Скорости вдольбереговых волноприбойных течений, формирующих устьевые абразионно-аккумулятивные пересыпи и косы, были рассчитаны по формулам Г.И. Шамова (1959) и В.Н. Гончарова (1954). Формулы Г.И. Шамова имеют вид:

$$v = 3.7d^{\frac{1}{3}}H^{\frac{1}{6}} \text{ (для отдельных частиц влекомых наносов),}$$

$$v = 6d^{\frac{1}{3}}H^{\frac{1}{6}} \text{ (начало массового движения влекомых наносов),}$$

где v – скорость течения, м/с;

d – диаметр частиц наносов, м;

H – средняя глубина потока, м.

Формула В.Н. Гончарова для расчета скорости течения:

$$v = \sqrt{2} \lg \left(8.8 \frac{H}{d} \right) \sqrt{\left(2 \times \frac{g(p_s - p)}{3.5p} d \right)},$$

где v – скорость течения, м/с;

d – диаметр частиц наносов, м;

H – средняя глубина потока, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_s – плотность частиц наносов, кг/м³;

ρ – плотность воды, кг/м³.

Скорости транспортировки частиц наносов были рассчитаны по формуле В.В. Романовского, представленной А.В. Караушевым (1977):

$$v_q = \alpha \left(v_{cp} - v_{нач} \sqrt{\frac{f}{f_0}} \right),$$

где v_q – скорость транспортирования частиц, м/с;

v_{cp} – средняя скорость потока на вертикали, м/с;

$v_{нач}$ – начальная скорость влечения частиц наносов, м/с (рассчитана по формулам, приведенным выше);

α – коэффициент перехода от донной скорости потока к средней скорости на вертикали;

f – динамический коэффициент трения;

f_0 – статический коэффициент трения.

Полученные скорости транспортирования частиц были использованы для вычисления расстояний, на которое наносы переносятся водным потоком.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем перейти к результатам настоящего исследования, рассмотрим подробнее процессы переработки берегов Волгоградского водохранилища и образования пересыпей и последствия данных процессов для экосистемы водоема.

1. Процессы переработки берегов Волгоградского водохранилища и образования абразионно-аккумулятивных пересыпей.

До создания Волгоградского водохранилища (1958 г.) рельеф волжского русла и поймы был сформирован естественным гидрологическим режимом Волги. Основной причиной береговых деформаций выступала русловая эрозия. Грядовый речной перенос превалировал в процессе стока наносов. На будущих речном и озерно-речном участках в донном субстрате русла преобладал среднезернистый песок (0.5–0.2 мм). На будущем озерном участке в составе донных наносов господствовала смесь пылеватых частиц (<0.1 мм) с мелкой фракцией песка (0.2–0.1 мм), насыщенная илом (<0.01 мм) (Филиппов, 2004).

После создания водохранилища р. Волга стала слабопроточным водоемом; возникли благоприятные условия для развития ветровых волн, особенно в нижней (озерной) части. На озерном участке водохранилища ведущим геоморфологическим процессом стал размыв берегов. В меньшей степени здесь распространены овражно-балочная эрозия (особенно на правобережье) и эоловая дефляция склонов (Филиппов, 2004). На озерно-речном и речном участках над размывом берегов преобладают эрозионно-аккумулятивные процессы (Баранова и др., 2016).

Темп размыва берегов за весь период существования водохранилища у левого берега равен 4.4–5.9 м/год, у правого – 0.1–1.8 м/год (Филиппов, 2004). В настоящее время среднегодовые темпы отступления несколько снизились и составляют на левом берегу – 1.3–2.1 м/год, на правом – 0.1–0.4 м/год (Баранова и др., 2016).

Вдольбереговой транспорт наносов Волгоградского водохранилища определяется воздействием не стоковых, а вдольбереговых ветровых и волноприбойных течений, которые обладают высокой транспортирующей способностью (Филатова, 1972). В зоне уреза скорости течений достигают максимума (Филиппов, 2004). Волноприбойная зона при слабом и умеренном волнении

занимает часть отмели, при максимальном волнении – всю отмель (Филатова, 1972).

В приходной части баланса наносов Волгоградского водохранилища в целом большая доля принадлежит размыву (абразии) берегов (73.4%); поступление наносов через плотину Саратовской ГЭС составляет 19.9%, приток наносов с бассейна водоема – 6.7%. Расходная часть баланса – только сток наносов через плотину Волжской ГЭС. Величину его можно принять равной притоку через Саратовскую ГЭС (Филиппов, 2004). Приходную часть баланса наносов ААП практически полностью составляет вдольбереговой транспорт. На озерном участке наносы поступают на пересыпи с постоянным стоком только малых рек (Щербаковка, Даниловка, Камышинка и др.). Поставляемый ими объем наносов очень незначителен по сравнению с принесенным вдольбереговым транспортом.

“Абразионно-аккумулятивная пересыпь” – это замыкающая аккумулятивная форма рельефа во входном створе залива, образованная вследствие седиментации продуктов размыва (абразии) берегов. Пересыпь является составной частью прибрежной отмели и включает в себя как надводную, так и подводную ее части во входном створе залива. 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 прибрежной отмели во входном створе залива (Баранова и др., 1967; Леонтьев, 1961).

Схему образования типичной ААП можно представить следующим образом. Сначала возникает донный порог и надводный аккумулятивный выступ у одного или обоих берегов залива. По мере нарастания надводный выступ превращается в свободную аккумулятивную форму (косу), а донный порог распространяется по всей ширине входного створа. Косы в процессе роста соединяются и образуется замыкающая форма рельефа – абразионно-аккумулятивная пересыпь (Баранова и др., 1967; Леонтьев, 1961).

По степени сформированности устьевых пересыпей заливы Волгоградского водохранилища были классифицированы нами как открытые, в начальной стадии отделения, в активной стадии отделения, в завершающей стадии отделения, закрытые и заливы, входные створы которых подвергались антропогенному воздействию.

2. Зарастание пересыпи и акватории залива.

Последствиями процесса отделения заливов является изменение их экологического состояния в сторону ухудшения. Закрытые заливы (особенно малые) проявляют признаки деградации экосистемы: накопление большого количества биогенных веществ, повышение концентраций

главных ионов в воде, зарастание, занесение и заиливание, дефицит растворенного кислорода в придонном горизонте и др. На процессах зарастания пересыпей и заливов остановимся подробнее.

В зависимости от субстрата, возраста и расположения на пересыпях формируются два типа фитоценозов:

– первый фитоценоз представлен разновозрастной древесно-кустарниковой растительностью и образуется на ААП закрытых (закрывающихся) заливов на каменистом и песчаном субстратах. Как правило, он встречается на правом берегу Волгоградского водохранилища (заливы Рубежный, Бахченый Овраг-1 и др.), реже – на левом берегу (залив Бирючья Балка) (Кочеткова и др., 2020);

– второй фитоценоз назван нами прибрежно-водным и для него характерно образование густых зарослей высшей водной растительности (ВВР, макрофитов) у входного створа в залив на глинистом, суглинистом и песчаном субстратах. Данный тип фитоценоза больше распространен на левобережье Волгоградского водохранилища (заливы Яблонный, Песчаный и др.), но встречается и на правом берегу (заливы Широкая Балка, Крутой) (Кочеткова и др., 2020).

Наблюдения авторов за фитоценозами в многолетнем аспекте выявили активное зарастание акваторий всех заливов, начиная с верховья и сильное зарастание закрытых заливов. Флористическое разнообразие закрытых заливов озерного участка водоема насчитывает 50 видов растений из 42 родов, 28 семейств и 3 отделов (Кочеткова, 2013). В закрытых заливах с большой площадью мелководной зоны и небольшой средней глубиной создаются условия лимнической экосистемы с отсутствием проточности, что в свою очередь положительно сказывается на вегетации макрофитов. Акватории малых заливов активно зарастают гидрофитами: роголистником погруженным (*Ceratophyllum demersum* L.) с отдельными группами рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.), рдеста блестящего (*Potamogeton lucens* L.), урути колосистой (*Myriophyllum spicatum* L.), ряски трехдольной (*Lemna trisulca* L.), многокоренника обыкновенного (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.), водокраса лягушачьего (*Hydrocharis morsus-ranae* L.), сальвинии плавающей (*Salvinia natans* (L.) All.).

Среди гелофитов доминируют формации тростника высочайшего (*Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile), тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.). Иногда около входного створа залива встречается осока береговая (*Carex riparia* Curt.) и ежеголовник прямой (*Sparganium erectum* L. (S. ramosum Huds.)). Гелофиты, как правило, образуют сплошное зарастание своего биотопа по периметру мелководной зоны залива.

3. Гранулометрический состав наносов устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей.

В гранулометрическом составе наносов устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей заливов Волгоградского водохранилища присутствуют фракции размером от 100–50 мм (крупная галька) до 0.05 мм и менее (мелкие пылеватые частицы). Отличия в величине преобладающей фракции связаны с литологическим составом берегов водохранилища.

Право- и левобережье Волгоградского водохранилища имеют принципиальные отличия по геологическому строению, литологическому составу береговых склонов. Правый берег сложен более древними и очень устойчивыми к размыву породами. Здесь представлены верхнемеловые породы (темно-серые и желтовато-серые опоки, черные плитчатые кремнистые глины с мало-мощным глауконитовым песчаником в основании, серые и темно-серые мергелистые глины) и породы палеогенового периода (опоки, слюдистые зеленовато-серые песчаники). Левый берег сложен относительно рыхлыми, слабоустойчивыми к размыву отложениями более молодого возраста. В литологическом составе преобладают суглинки, пластинчатые трещиноватые глины, супеси и слабо уплотненные или рыхлые пески (эолового и древнеаллювиального происхождения). Отмечены выходы плотных хвалыньских глин, которые служат сдерживающим фактором размыва (Баранова, 1964; Милановский, 1940; Сидоренко, 1967; Филиппов, 2004; и др.). Поэтому наблюдаются отличия в гранулометрическом составе наносов на право- и левобережье водоема и, как следствие, наносообразующих скоростях течения.

Литологический состав берегов вблизи входного створа залива определен на основе материалов Е.В. Милановского (1940), А.И. Барановой (1964), А.В. Сидоренко (1967) и других ученых и результатов собственных наблюдений 2019–2020 гг. (Ваганова, 2019 и др.). Преобладающая фракция наносов, слагающих ААП и косы, во взаимосвязи с литологическим составом берегов водоема представлена на рис. 1. Правобережье поставляет на устьевые формы рельефа гальку и гравий всех фракций, крупные пылеватые фракции, в меньшей степени – песок всех фракций. Левобережье – принципиально другой по составу материал – песок всех фракций, в меньшей степени – крупные пылеватые частицы, гравий и гальку.

В составе наносов пересыпей и кос правобережных заливов Волгоградского водохранилища, в одних случаях, преобладает крупная (до 79.6%) и средняя галька (до 87.0%). В других случаях преобладающей становится средняя (до 84.0%) и мелкая фракция песка (до 82.0%). На ААП и косах правобережных заливов, сложенных, преимуще-

ственно, галькой и гравием, отмечены наносы размером от 100–50 мм (крупная галька) до 10–5 мм (крупный гравий). Например, на пересыпях заливов Большой, Другалка, левосторонней косе залива Верхний Ураков и др. Однако, встречаются частицы и более мелкого размера, вплоть до пылеватых (правосторонняя коса залива Бельский, левосторонняя коса залива Гусева, пересыпь залива Короткий Липовый и др.). В составе наносов ААП и кос заливов правого берега, сложенных преимущественно песчаными фракциями, преобладают средние (0.5–0.2 мм) и мелкие фракции песка (0.2–0.1 мм). Например, на ААП заливов Бахченый Овраг-1, Бахченый Овраг-2, Крестищенская балка, Суводский Яр. Размер частиц наносов варьирует от 2–1 мм (мелкий гравий) до 0.1–0.05 мм (крупные пылеватые частицы). Практически во всех пробах выявлен небольшой процент фракций размером менее 0.05 мм (мелкие пылеватые и иловатые частицы). В отдельных пробах встречаются более крупные фракции: от 50–20 мм (средняя галька), 20–10 мм (мелкая галька) (на ААП заливов Бахченый Овраг-1, Бахченый Овраг-2, Третий), 10–5 мм (крупный гравий), 5–2 мм (средний гравий). Например, на пересыпях заливов Бахченый Овраг-1, Бахченый Овраг-2, Крестищенская Балка, Безымянный-1.

На ААП и косах *левобережных заливов* преобладает средняя фракция песка (размером 0.5–0.2 мм; до 91.4%), отмечены частицы размером менее 0.05 мм. Например, на правосторонней косе залива Песчаный, на пересыпях заливов Бирючья Балка, Безымянный-2 и др. Размер наносов левобережных ААП составляет от 10–5 мм (крупный гравий) до 0.05 мм и менее (мелкие пылеватые, иловатые и глинистые частицы). В отдельных пробах с правосторонних кос заливов Кислово, Песчаный и левосторонней косы залива Яблонный отмечены более крупные фракции размером 50–20 мм (средняя галька), 20–10 мм (мелкая галька).

Важной характеристикой воздействия водного потока и его скорости на переносимые частицы служит степень их окатанности. Окатанность резко увеличивается в начале переноса, затем изменение этого показателя происходит постепенно. Высокая степень окатанности отвечает уже первым километрам переноса (Петтиджон, 1981). Во всех пробах частицы на пересыпях заливов Волгоградского водохранилища оказались окатанными или хорошо окатанными. Значения коэффициента окатанности (K_0) варьируют от 0.60 до 0.85 (табл. 2). Это свидетельствует о том, что данные частицы были принесены водным потоком в ходе вдольберегового транспорта и могут быть отнесены к наносам. Значения K_0 в пределах одной ААП или косы в большинстве случаев практически не

отличаются. На некоторых пересыпях разница коэффициента на гребне и урезе достигает 0.10–0.14, что связано с сортировкой материала и разницей в транспортирующих скоростях течения.

Первичная статистическая обработка данных по гранулометрическому составу речных наносов заключается в определении гранулометрических параметров $d_{5\%}$, $d_{10\%}$, $d_{25\%}$, $d_{50\%}$, $d_{75\%}$, $d_{90\%}$, $d_{95\%}$. Индекс при d показывает, какой процент частиц меньше данного размера d содержится в составе данной пробы наносов. Значения этих параметров определяются по интегральной (кумулятивной) кривой гранулометрического состава². Интегральные кривые были построены нами в программе Microsoft Excel по возрастанию размера фракций (от более мелких к более крупным) (рис. 2).

В связи тем, что результаты, полученные по интегральным кривым, отличаются пониженной точностью, для определения гранулометрических параметров была подготовлена программа на основе Microsoft Excel “Гранулометрия; интегральная кривая”, позволяющая производить необходимые расчеты для каждой пробы наносов. В программу было введено процентное содержание каждой фракции по массе, размер наиболее крупной частицы (x) и исходные данные, характеризующие пробу (№ пробы, название залива, место отбора, время и дата). В качестве выходных данных мы получили рассчитанные значения $d_{5\%}$, $d_{10\%}$, $d_{25\%}$, $d_{50\%}$, $d_{75\%}$, $d_{90\%}$, $d_{95\%}$ (табл. 1).

Эффективный диаметр частиц наносов 90%-й обеспеченности ($d_{90\%}$) характеризует скорости течения, формирующие поток наносов. Рассчитанные значения $d_{90\%}$ в зависимости от преобладающей фракции наносов в пробе колеблются от 0.25 мм (на абразионно-аккумулятивной отмели около входного створа залива Бахченый Овраг-1) до 87.40 мм (на урезе левосторонней косы залива Местный Рубежный). Пересыпи и косы с преобладанием в составе крупных и средних фракций (100–5 мм) отличаются средними значениями $d_{90\%}$ равными 46.1–50.0 мм. ААП и косы с преобладанием в составе мелких фракций (5–0.05 мм) характеризуются средними значениями $d_{90\%}$ равными 0.58–0.90 мм. Значения $d_{90\%}$, как правило, сильно отличаются на гребне пересыпи и на урезе Волгоградского водохранилища.

Приближенную характеристику степени сортировки материала наносов дает метод квартилей П. Траска (1932) и рассчитанный по этому методу коэффициент сортировки S_0 (Мясникова, Потехин, 2021). По значениям S_0 изученные нами пробы наносов оказались хорошо (1.13–1.57), средне (1.58–2.08) и плохо (2.23–14.40) отсортированы.

² Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 384 с.

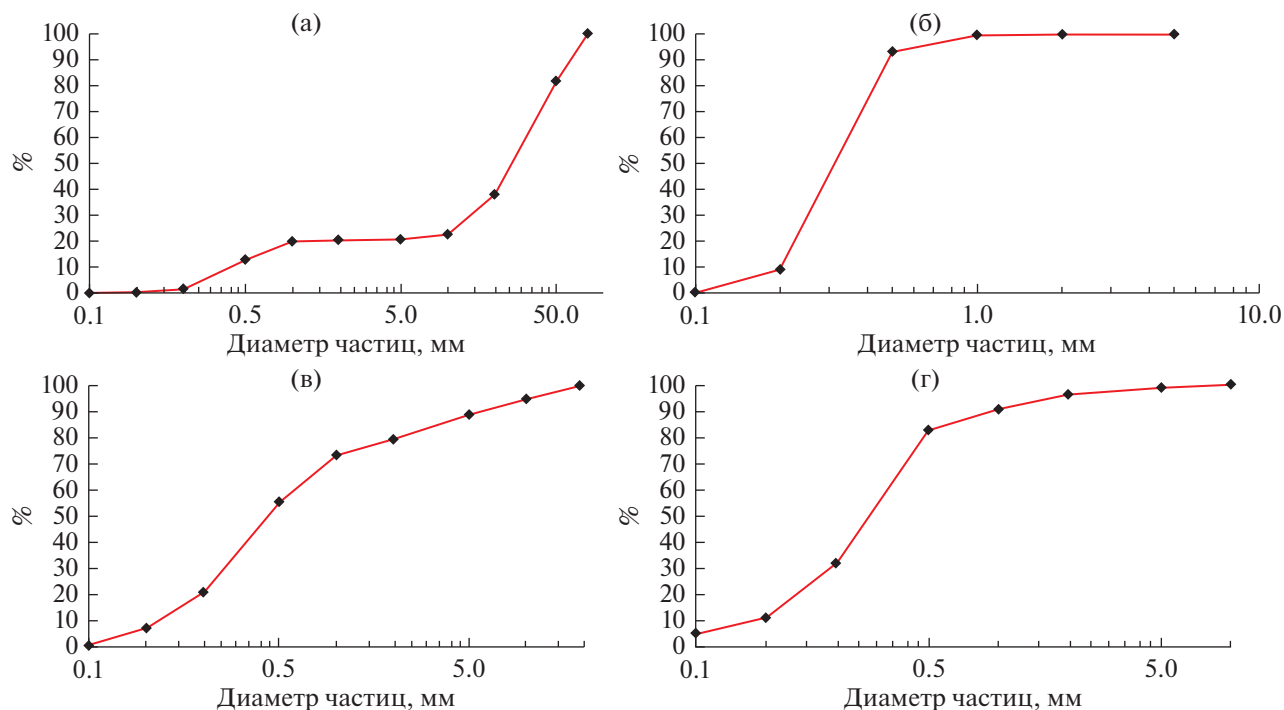


Рис. 2. Интегральные кривые гранулометрического состава наносов ААП правобережного залива Бахченый Овраг-1 ((а) – урез водохранилища, (б) – гребень пересыпи) и левобережного залива Бирючья Балка ((в) – урез водохранилища, (г) – гребень пересыпи).

Пробы с разных участков одной пересыпи или косы, как правило, имеют разную степень сортировки, за исключением нескольких заливов. Все пробы хорошо отсортированы на пересыпях заливов Другалка, Большой, Крестищенская Балка, Суводский Яр, Безымянный-2, левосторонней косе залива Верхний Ураков, правосторонней косе залива Местный Рубежный. Хорошая степень сортировки говорит об однородности скоростей течения, образующих данные формы рельефа. Обе пробы плохо сортированы на ААП залива Третий, обе пробы средне сортированы на левосторонней косе залива Осиновый. Разная степень сортировки в пределах одной ААП свиде-

тельствует о неравномерности ее образования во времени при различных скоростях течения.

Пробы наносов с середины ААП или косы почти во всех случаях хорошо сортированы, только в двух случаях – средне отсортированы. Пробы, взятые на абразионно-аккумулятивных отмелях, в большинстве случаев хорошо сортированы. Пробы с урезов Волгоградского водохранилища, как правило, плохо отсортированы, лишь в нескольких случаях – средне отсортированы. Такая закономерность связана с высокой динамикой прирусной части пересыпи, различиях в высоте волны и скоростях течений, ее формирующих.

Таблица 1. Пример расчета гранулометрических параметров в программе “Гранулометрия; интегральная кривая”

№ пробы, название залива, место отбора	Дата и время отбора	x , мм	$d_{5\%}$, мм	$d_{10\%}$, мм	$d_{25\%}$, мм	$d_{50\%}$, мм	$d_{75\%}$, мм	$d_{90\%}$, мм	$d_{95\%}$, мм
60, Другалка; ААП, урез водохранилища	29.07.2020 18:30	37.0	2.26	2.70	4.02	6.71	9.78	16.74	19.30
30, Суводский Яр; ААП, урез залива	28.07.2019 14:02	7.0	0.15	0.20	0.27	0.37	0.48	0.77	0.89
25, Песчаный; гребень правобережной косы	27.06.2019 11:29	5.0	0.14	0.18	0.25	0.33	0.42	0.47	0.48
71, Кислово; урез правобережной косы	30.07.2020 13:03	29.0	0.29	0.39	0.78	1.62	3.38	4.83	11.02

Таблица 2. Оценочный расчет передвигающих наносы скоростей течений по Г.И. Шамову (1959) и В.Н. Гончарову (1954) и степень окатанности частиц, формирующих пересыпи

Название залива	Абразионно-аккумулятивная форма рельефа	Гребень ААП или косы			Урез Волгоградского водохранилища		
		$d_{90\%}$, мм	$V_{\text{теч}}$, м/с	K_0	$d_{90\%}$, мм	$V_{\text{теч}}$, м/с	K_0
1	2	3	4	5	6	7	8
Правобережные заливы							
Другалка	ААП	42.35	2.63–2.70	0.74	16.74	1.88–1.99	0.80
Большой	ААП	81.58	3.32–3.36	0.61	81.73	3.32–3.37	0.67
Верхний Ураков	Левосторонняя коса	70.51	3.15–3.20	0.82	87.21	3.40–3.45	0.83
Бахченый Овраг-1	ААП	0.49	0.47–0.61	0.66	63.87	3.04–3.10	0.71
Бахченый Овраг-2	ААП	0.58	0.50–0.65	0.69	58.25	2.96–3.01	0.74
Крестищенская Балка	ААП	0.48	0.47–0.61	0.74	0.58	0.50–0.65	0.80
Безымянный-1	ААП	–	–	–	60.43	2.99–3.05	0.68
Третий	ААП	50.91	2.84–2.90	0.79	20.58	2.05–2.14	0.77
Рубежный	Правосторонняя коса	77.67	3.26–3.30	0.78	49.98	2.83–2.89	0.80
Суводский Яр	ААП	0.91	0.60–0.75	0.77	0.90	0.60–0.75	0.78
Гусева	Левосторонняя коса	46.15	2.73–2.79	0.71	52.69	2.87–2.93	0.69
Ростовый	ААП	55.60	2.92–2.97	0.73	75.39	3.22–3.27	0.77
Короткий Липовый	ААП	48.40	2.79–2.85	0.60	70.40	3.14–3.20	0.84
Родники	Правосторонняя коса	59.49	2.98–3.03	0.75	36.48	2.47–2.55	0.66
Широкая Балка	Правосторонняя коса	29.23	2.28–2.36	0.78	56.71	2.93–2.99	0.77
Безымянный-3	Левосторонняя коса	48.85	2.80–2.86	0.70	64.46	3.05–3.11	0.71
Беленький	Правосторонняя коса	56.43	2.93–2.99	0.77	35.05	2.43–2.51	0.74
Беленький	Левосторонняя коса	56.47	2.93–2.99	0.75	41.70	2.61–2.68	0.80
Местный Рубежный	Правосторонняя коса	48.71	2.80–2.86	0.80	54.20	2.89–2.95	0.74
Местный Рубежный	Левосторонняя коса	46.18	2.73–2.79	0.78	87.40	3.41–3.45	0.81
Осиновый	Правосторонняя коса	–	–	–	0.96	0.62–0.77	0.80
Осиновый	Левосторонняя я коса	37.69	2.50–2.58	0.82	17.71	1.92–2.03	0.82
Левобережные заливы							
Песчаный	Правосторонняя коса	0.47	0.46–0.60	0.85	4.50	1.14–1.28	0.72
Бирючья Балка	ААП	0.95	0.62–0.76	0.74	5.87	1.26–1.40	0.69
Безымянный-2	ААП	0.47	0.47–0.61	0.78	0.47	0.47–0.61	0.77
Яблонный	Левосторонняя коса	0.97	0.62–0.77	0.75	9.12	1.50–1.63	0.74
Кислово	Правосторонняя коса	0.50	0.48–0.62	0.84	4.83	1.18–1.32	0.74

Гранулометрический состав наносов служит косвенным признаком динамики и нарастания уже сформированной пересыпи. Во всех пробах наносов ААП залива Другалка в июле 2019 г. преобладала крупная (100–50 мм) и средняя галька (50–20 мм). В пробах 2020 г., взятых на ААП около уреза Волгоградского водохранилища, преобладала мелкая галька (20–10 мм) и крупный гравий (10–5 мм). Это говорит о некотором нарастании пересыпи со стороны водохранилища. Аналогичный процесс мы наблюдали на правосторонней косе залива Широкая Балка, несмотря на то, что все пробы были отобраны в июле 2020 г. В пробе со “старой”

части косы, ближе к береговому уступу, подавляющее большинство наносов относилось к фракции среднезернистого песка (0.5–0.2 мм). В середине “новой” части косы, формирующейся ближе к отмели, наряду с фракцией среднезернистого песка преобладала фракция средней гальки (50–20 мм). На урезе “новой” части косы доминирующей была средняя (50–20 мм) и крупная галька (100–50 мм).

4. Скорости вдольбереговых волноприбойных течений, формирующие абразионно-аккумулятивные пересыпи.

Таблица 3. Скорости влечения наносов и расчетное расстояние, которое частицы могут пройти за 3 ч воздействия “шторма”

x , мм	$v_{\text{ч}}$, км/час	L за 3 ч воздействия “шторма”, км	x , мм	$v_{\text{ч}}$, км/час	L за 3 ч воздействия “шторма”, км
100	1.52	3.0	2	0.98–8.80	17.6
50	0.22–3.87	7.7	1	1.83–9.06	18.1
20	2.87–6.56	13.1	0.5	2.34–9.20	18.4
10	1.08–7.62	15.2	0.2	2.55–9.27	18.5
5	2.25–8.45	16.9	0.1	2.74–9.35	18.7

Примечание. x – размер наиболее крупной фракции наносов в пробе; $v_{\text{ч}}$ – скорость движения частиц наносов; L – расчетное расстояние, которое могут пройти частицы наносов.

В.В. Законнов, А.В. Законнова, А.И. Цветков, Н.Г. Шерышева (2018) отмечают, что скорости течения выше средних формируют основной гранулометрический скелет осадков, а меньше средних – насыщают его структуру тонкодисперсными частицами. При максимальных скоростях течения происходит размыв дна и берегов, сортировка наносов по крупности; а при слабых градиентах скоростного режима создаются условия для накопления тонкодисперсных фракций (Законнов и др., 2018).

В настоящем исследовании мы выполнили оценочный расчет скоростей вдольбереговых волноприбойных течений ($V_{\text{теч}}$), образующих устьевые абразионно-аккумулятивные пересыпи и косы. Скорости подобных течений мы будем называть *нанософормирующими*. Был применен косвенный метод, основанный на гранулометрическом анализе проб наносов (значения $d_{90\%}$). Расчет произведен с использованием формул Г.И. Шамова (1959) и В.Н. Гончарова (1954), так как эти формулы обеспечивают наилучшую сходимость результатов. Рассчитанные скорости течений характерны для “штормовых” условий на водохранилище. Под “штормовыми условиями” в своем исследовании мы будем понимать скорость ветра 10 м/с и более. В табл. 2 приведен оценочный расчет скоростей течения, способных привести в движение частицы наносов и создающих ААП и косы во входных створах заливов.

В табл. 2 видно, что скорость течения варьирует от 0.5 до 3.5 м/с. ААП и косы сформированы в различных “штормовых условиях”. Об этом говорят значения $V_{\text{теч}}$ в пределах двух кос в устье одного залива (Местный Рубежный, Осиновый) или на гребне и урезе одной ААП (Бахченский Овраг-1, Бирючья Балка и др.). Применяемая методика расчета скорости была апробирована О.В. Филипповым (2004). Автором проведено вычисление оценочных скоростей течения на прибрежных отмелях участков многолетних наблюдений за пе-

реформированием берегов Волгоградского водохранилища. Значения скорости в зоне волноприбой варьирует от 0.3 до 3.6 м/с. Полученные в настоящей статье значения скоростей, образующих пересыпи, сопоставимы с этими результатами.

В результате исследования выявлены отличия в нанософормирующих скоростях течения на право- и левобережье водохранилища. На правобережье скорости изменяются от 0.47–0.61 до 3.40–3.45 м/с, на левобережье – от 0.47–0.61 до 1.50–1.63 м/с. Это вывод является одной из выявленных нами закономерностей процесса формирования ААП. Полученные закономерности могут быть применены при изучении процесса формирования устьевых ААП заливов на других водохранилищах зоны недостаточного увлажнения России (например, Куйбышевское и Цимлянское).

Меньшие значения $V_{\text{теч}}$ на левом берегу Волгоградского водохранилища связаны с литологическим составом. Здесь преобладают супеси и суглинки (см. рис. 1), поставляющие на пересыпи, в основном, песчаные фракции. В очень небольшом количестве в зону волноприбоя попадает галечно-гравелистый материал. Поэтому, чтобы привести в движение влекомые наносы в зоне волноприбоя у левого берега требуются меньшие скорости течения.

Переформирование профиля береговой зоны и перераспределение фракций наносов начинается сразу после начала волнового воздействия и наиболее интенсивно происходит в течение первых 3–6 ч (Гуров и др., 2019). На Волгоградском водохранилище наиболее распространены “штормовые условия” продолжительностью 3–9 ч. По полученным скоростям течения были рассчитаны скорости транспортировки частиц наносов ($v_{\text{ч}}$) вдольбереговыми волноприбойными течениями (табл. 3). Были вычислены расстояния (L), на которые могут переноситься частицы наносов в течение 3, 6 и 9 ч. Следует отметить, что расчет был

проведен в общем виде без учета характера движения частиц наносов и их приостановки в процессе движения.

Скорости транспортировки наносов рассчитаны по формуле В.В. Романовского (1974). А.В. Караушев (1977) указывает, что данное решение является достаточно общим и может использоваться для расчета движения влекомых наносов, не зависимо от вида движения. Представленная формула учитывает уравнения скорости частицы и при разгоне, и при замедлении движения. В.В. Романовским (1974) установлено, что скорость перемещения частиц по дну не зависит от размера выступов и шероховатости дна, а является функцией донной скорости потока и формы частиц (Караушев, 1977). Расчеты произведены нами для прибрежной отмели, которую можно считать однородной. Поэтому морфологические особенности дна не учитывались при вычислении скорости.

За 3 ч наносы с преобладанием в составе гравелистых, песчаных и крупных пылеватых фракций могут переместиться на 15–19 км, а наносы, состоящие в основном из галечных фракций – на 3–13 км (см. табл. 3). Расчет перемещения наносов за 6–9 ч дал результаты в несколько десятков км. На наш взгляд, полученные данные несколько завышены, и реальные расстояния будут меньше. Потому что гранулометрический состав наносов пересыпей и кос соответствует литологическому составу берегов водохранилища вблизи устья залива (см. рис. 1). На участках правого берега с преобладанием в литологическом составе опоки и песчаников на устьевых ААП господствуют галечные и гравелистые фракции (заливы Большой, Рубежный, Гусева и др.). На участках с преобладанием суглинков, слабо уплотненных песков и песчаников на пересыпях преобладают песчаные фракции (Крестинская Балка, Третий, Широкая Балка и др.). На левобережье, сложенном супесями и суглинками, на пересыпях господствуют песчаные фракции (Карагачева Балка, Кислово, Яблонный и др.). Следует отметить, что протяженность береговой линии водохранилища, не прерываемой мысами или входными створами заливов, не превышает 20 км, но как правило, это значение составляет 5–10 км. Поэтому перемещаемые наносы аккумулируются не далеко от источника поступления. Авторы предполагают, что седиментация наносов через 6–9 ч произойдет на расстоянии, не превышающем 15–19 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов настоящего исследования позволил сделать следующие выводы:

1. В формировании абразионно-аккумулятивных пересыпей и кос принимают участие наносы размером от 100–50 мм (крупная галька) до 0.05 мм и менее (мелкие пылеватые частицы). Различия в размерах фракций связаны с литологическим составом берегов водохранилища вблизи входного створа залива и нанософормирующих скоростях вдольберегового течения и волноприбойных направлениях ветра и его скорости.

2. Составляющие пересыпи и косы наносы являются окатанными или хорошо окатанными (со значениями коэффициента окатанности 0.60–0.85), что свидетельствует о том, что они были принесены водным потоком в ходе вдольберегового транспорта.

3. В результате исследования выявлены отличия в гранулометрическом составе пересыпей на право- и левобережье водоема. В составе наносов пересыпей и кос *правобережных заливов* Волгоградского водохранилища, сложенных преимущественно галькой и гравием, преобладает крупная (100–50 мм) и средняя галька (50–20 мм), а на ААП и косах, сложенных преимущественно песчаными фракциями, господствуют средние (0.5–0.2 мм) и мелкие фракции песка (0.2–0.1 мм). В составе наносов пересыпей и кос *левобережных заливов* преобладает средняя фракция песка (размером 0.5–0.2 мм), отмечены частицы размером менее 0.05 мм.

4. Гранулометрический состав выступает индикатором наносообразующих скоростей течения в “штормовых условиях”. На правобережье водоема скорости течения составляют от 0.47 до 3.45 м/с, на левобережье – от 0.47 до 1.63 м/с.

5. Пробы наносов устьевых ААП имеют разную степень сортировки (1.13–14.40), что говорит о различиях в скоростях течений, формирующих данные формы рельефа в разные временные периоды. Пробы с гребня ААП или косы почти во всех случаях хорошо сортированы. Пробы наносов с урезов Волгоградского водохранилища, как правило, плохо отсортированы, что связано с высокой динамикой приустьевой части пересыпи, различиях в скоростях течений, ее формирующих и высоте волны.

6. Гранулометрические параметры являются косвенными признаками динамики уже сформированной пересыпи. По размерам частиц наносов возможно судить о нарастании ААП во времени со стороны Волгоградского водохранилища.

7. Гранулометрический состав наносов абразионно-аккумулятивных пересыпей соответствует литологическому составу берегов Волгоградского водохранилища вблизи устья залива. Седиментация влекомых и взвешенных наносов происходит на близком расстоянии от источника поступления (не более 15–19 км).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено 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 озерного участка Волгоградского водохранилища”.

FUNDING

The reported study was funded by RFBR and Administration of Volgograd oblast according to the research project no. 19-45-343002 r_mol_a “The patterns of formation of abrasion-accumulative jumpers in the entrance gates of the bays of lake area of the Volgograd Reservoir.”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранова А.И.* Геолого-геоморфологическая характеристика побережий Волгоградского водохранилища // *Материалы к изучению переформирования берегов Волгоградского водохранилища*. М.—Л.: Наука, 1964. С. 6—40.
- Баранова А.И., Зубенко Ф.С., Кудрявцева Е.Н., Радченко Э.К., Семенова Н.Н.* Изучение физико-геологических процессов на побережьях и берегах водохранилищ по аэроснимкам. Л.: Наука, Ленинград. отд., 1967. 283 с.
- Баранова М.С., Филиппов О.В., Кочеткова А.И., Брызгалкина Е.С.* ГИС-технологии и спутниковые данные как инструменты мониторинга геодинамических процессов Волгоградского водохранилища // *Географический вестн.* 2016. № 2 (37). С. 148—160. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-2-148-160>
- Вендров С.Л.* Об изменении рельефа прибрежной зоны Цимлянского водохранилища // *Морской и речной флот*. 1953. № 5. С. 28—34.
- Гончаров В.Н.* Основы динамики русловых процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 452 с.
- Гуров К.И.* Результаты мониторинга гранулометрического состава наносов береговой зоны Каламитского залива // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. № 3. С. 56—63. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-3-56-63>
- Гуров К.И., Удовик В.Ф., Фомин В.В.* Моделирование штормовых изменений рельефа береговой зоны и гранулометрического состава наносов в районе пересыпи оз. Богайлы (Западный Крым) // *Морской геофизич. журн.* 2019. Т. 35. № 2. С. 185—196. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-2-185-196>
- Законнов В.В., Законнова А.В., Цветков А.И., Шерышева Н.Г.* Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // *Тр. ИБВВ РАН*. Борок: ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, 2018. Вып. 81 (84). С. 35—46. <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2018-1-0004>
- Захаров А.В., Алексеев И.А.* Социально-экологические проблемы Чебоксарского водохранилища // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2012. № 5. С. 90—101. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2012-5-90-101>
- Зубенко Ф.С.* Берега Куйбышевского водохранилища // *Берега Куйбышевского водохранилища*. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 154—188.
- Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометиздат, 1977. 272 с.
- Кочеткова А.И.* Пространственно-временной анализ зарастания Волгоградского водохранилища: Дис. ... канд. биол. наук. Борок: Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, 2013. 226 с.
- Кочеткова А.И., Баранова М.С., Филиппов О.В., Брызгалкина Е.С., Курашов Е.А.* Флористический состав фитоценозов абразионно-аккумулятивных пересыпей озерного участка Волгоградского водохранилища // *Проблемы устойчивого развития и экол.-экон. безопасности регионов: Материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. (г. Волжский, 9—10 апреля 2020 г.)*. Волгоград: Сфера, 2020. С. 64—75.
- Крыленко В.В., Крыленко М.В.* Исследование значимости и взаимосвязей природных факторов формирования гранулометрического состава отложений и рельефа аккумулятивных береговых форм Черного моря // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2014. Т. 10. № 1. С. 669—675.
- Леонтьев О.К.* Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1961. 418 с.
- Милановский Е.В.* Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.—Л.: Гос. науч.-тех. изд-во нефтяной и горно-топливной лит-ры, 1940. 303 с.
- Мясникова Н.А., Потахин М.С.* Гранулометрический состав донных отложений озера Торосьярви (бассейн Белого моря) // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология*. 2021. № 1. С. 45—56. <https://doi.org/10.17308/geo.2021.1/3255>
- Назаров Н.Н., Тюняткин Д.Г., Фролова И.В., Черепанов А.В.* Морфолитогенез в зоне вдольберегового переноса наносов на Камском водохранилище (ст. 2 Наносы) // *Географический вестн.* 2013. № 2 (25). С. 35—39.
- Петтиджон Ф.Дж.* Осадочные породы / пер. с англ. М.: Изд-во “Недра”, 1981. 751 с.
- Сидоренко А.В.* Геология СССР. Т. XI. Поволжье и Прикамье. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Изд-во “Недра”, 1967. 605 с.
- Филатова Т.Н.* Исследование течений в озерах и водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 319 с.
- Филиппов О.В.* Формирование природных аквальных комплексов озерной части Волгоградского водохранилища в условиях изменения гидрологического режима: Дис. ... канд. геогр. наук. Волгоград: Волгоград. гос. архит.-строит. ун-т, 2004. 217 с.
- Чалов С.Р., Ефимов В.А.* Гранулометрический состав взвешенных наносов: характеристики, классификации, пространственная изменчивость // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2021. № 4. С. 91—103.

- Шамов Г.И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 380 с.
- Baranova M.S. The main formative material of bay's estuarial abrasion-accumulative jumpers and it's interconnection with the lithological composition of Volgograd reservoir coasts // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, VII International Scientific Practical Conference "Modern problems of reservoirs and their catchments" 30 May to 2 June 2019. Perm State Univ., Russia, 2019. Vol. 321. P. 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/321/1/012001>
- Bagnold R.A. Sand movement by waves: some small-scale experiments with sand of very low density // *J. Inst. Civil Engineers*. 1947. № 27. P. 447–469.
- Grotoli E., Bertoni D., Ciavola P., Pozzebon A. Short term displacements of marked pebbles in the swash zone: Focus on particle shape and size // *Marine Geol.* 2019. Vol. 367. P. 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.06.006>
- Hegde V.S., Krishnaprasad P.A., Shalini G., Rajawat A.S. Granulometric dynamics of the coastal sediments of the Central West coast of India: Insight into morpho-tectonic influences on the beach processes // *CATE-NA*. 2021. Vol. 204. P. 105363. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105363>
- Jarmalavičius D., Žilinskas G., Pupienis D. Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania // *Int. J. Sediment Res.* 2017. Vol. 32. № 4. P. 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.07.006>
- Ouillon S. Why and how do we study sediment transport? Focus on coastal zones and ongoing methods // *Water*. 2018. Vol. 10 (4). № 390. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/390/htm> (Accessed 10 February 2020). <https://doi.org/10.3390/w10040390>
- Zhuk E., Khaliulin A., Krylenko M., Krylenko V., Zodiatis G., Nikolaidis M., Nikolaidis A. Including granulometric sediment coastal data composition into the Black Sea GIS // *Proceedings of SPIE. The Int. Soc. for Optical Engineering*. (5, 20–23 March 2017). Paphos, 2017. P. 104 440. <https://doi.org/10.1117/12.2279083>

Granulometric Composition of Abrasion-Accumulative Jumpers of Volgograd Reservoir Bays as an Indicator of Sediment-Forming Currents' Speeds

M. S. Baranova^{1, *}, O. V. Filippov^{1, **}, E. S. Bryzgalina^{1, ***}, and A. I. Kochetkova^{1, ****}

¹*Volzhskiy Branch of Volgograd State University, Volzhskiy, Russia*

**e-mail: maria_baranova2902@rambler.ru*

***e-mail: ovfilippov@list.ru*

****e-mail: bryzgalina_elena@mail.ru*

*****e-mail: aikochetkova@mail.ru*

Separation of bays from the main water area of Volgograd Reservoir by abrasion-accumulative jumpers is one of the regional problems now. This process arises due to alongshore sediment transport. Granulometric composition describes the movement of sediments of abrasion-accumulative jumpers under the influence of alongshore currents. We determined granulometric parameters of jumpers, and we made evaluative calculation of sediment-forming currents' speeds based on materials of 2019–2020. We studied 82 samples from 24 right-coast and left-coast bays. Field (sediment sampling, visual characteristic of the coast's lithological composition) and analytical (granulometric analysis, graphic and mathematical methods) research methods were applied. We have established that size of sediments participating in the construction of abrasion-accumulative jumpers is from 100–50 mm (coarse pebble) to 0.05 mm or less (small dusty particles). All studied particles turned out to be rounded or well rounded. This gives grounds to classify them as sediments. There are differences in the granulometric composition of jumpers' sediments on the right and left coasts of the Reservoir. Coarse pebble (100–50 mm) and medium pebble (50–20 mm) or medium sand (0.5–0.2 mm) and fine sand (0.2–0.1 mm) dominates in sediments' composition of right-coast bays jumpers. Medium sand (0.5–0.2 mm) prevails in sediments' composition of left-coast bays jumpers. Here was registered size of sediment particles less than 0.05 mm. The currents' speeds forming abrasion-accumulative jumpers are from 0.47 to 3.45 m/s in the right coast and from 0.47 to 1.63 m/s in the left coast. Sediment samples of estuarine jumpers have different degree of sorting (1.13–14.40). This attests about differences in currents' speeds forming these landforms in different time periods. The granulometric composition of sediments is an indirect sign of the dynamics of already formed jumpers. It is an indicator of sediment-forming currents' speeds. Sedimentation of sediments in the Volgograd Reservoir occurs at a close distance from the source of their income.

Keywords: bays, granulometry, lithology, abrasion-accumulative jumpers, current speeds, integral graphs, Volgograd Reservoir

REFERENCES

- Bagnold R.A. Sand movement by waves: some small-scale experiments with sand of very low density. *J. Institution Civil Engineers*, 1947, no. 27, pp. 447–469.
- Baranova A.I. Geological and geomorphological characteristics of the coasts of the Volgograd Reservoir. In *Materialy k izucheniyu pereformirovaniya beregov Volgogradskogo vodokhranilishcha* [Materials to the Study of

- the Re-formation of the Volgograd Reservoir Coasts]. Moscow–Leningrad: Nauka Publ., 1964, pp. 6–40.
- Baranova A.I., Zubenko F.S., Kudrjavceva E.T., Radchenko E.K., Semenova N.N. *Izuchenie fiziko-geologicheskikh protsessov na poberezh'yakh i beregakh vodokhranilishch po aerosnimkam* [Study of Physical and Geological Processes on the Coasts of Reservoirs from Aerial Photographs]. Leningrad: Nauka Publ., 1967. 283 p.
- Baranova M.S. The main formative material of bay's estuarial abrasion-accumulative jumpers and it's interconnection with the lithological composition of Volgograd reservoir coasts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, VII Int. Scientific Practical Conf. "Modern problems of reservoirs and their catchments" 30 May to 2 June 2019, Perm State University, Russian Federation, 2019, vol. 321, p. 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/321/1/012001>
- Baranova M.S., Filippov O.V., Kochetkova A.I., Bryzgalina E.S. GIS technology and satellite data as tools for monitoring geodynamic processes in the Volgograd reservoir. *Geogr. Vestn.*, 2016, no. 2 (37), pp. 148–160. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-2-148-160>
- Chalov S.R., Efimov V.A. Granulometric composition of suspended sediments: characteristics, classifications, spatial variability. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5: Geogr.*, 2021, no. 4, pp. 91–103. (In Russ.).
- Filatova T.N. *Issledovanie techenii v ozerakh i vodokhranilishchakh* [Study of Currents in Lakes and Reservoir]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1972. 319 p.
- Filippov O.V. Formation of natural aquatic complexes of the lake part of the Volgograd reservoir under conditions of changes in the hydrological regime. *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Volgograd: Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 2004. 217 p.
- Goncharov V.N. *Osnovy dinamiki ruslovykh protsessov* [Basics of the Dynamics of Watercourses Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1954. 452 p.
- Grottoli E., Bertoni D., Ciavola P., Pozzebon A. Short term displacements of marked pebbles in the swash zone: Focus on particle shape and size. *Marine Geology*, 2019, vol. 367, pp. 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.06.006>
- Gurov K.I. Results of sediment granulometric composition monitoring in coastal zone of the Kalamitskiy bay. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnoi i Shel'fovoi Zon Morya*, 2018, no. 3, pp. 56–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-3-56-63>
- Gurov K.I., Udovik V.F., Fomin V.V. Modeling of the coastal zone relief and granulometric composition changes of sediments in the region of the Bogaily Lake bay-bar (the Western Crimea) during storm. *Morsk. Geofiz. Zh.*, 2019, vol. 35, no. 2, pp. 185–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-2-185-196>
- Hegde V.S., Krishnaprasad P.A., Shalini G., Rajawat A.S. Granulometric dynamics of the coastal sediments of the Central West coast of India: Insight into morphotectonic influences on the beach processes. *CATENA*, 2021, vol. 204, p. 105363. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105363>
- Jarmalavičius D., Žilinskas G., Pupienis D. Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania. *Int. J. Sediment Res.*, 2017, vol. 32, Iss. 4, pp. 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.07.006>
- Karushev A.V. *Teoriya i metody rascheta rechnykh nanosov* [Theory and Methods for Calculating River Sediments]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1977. 272 p.
- Kochetkova A.I. Spatial-temporal analysis of the overgrowth of the Volgograd reservoir. *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Borok: Institute of biology of inland waters by I.D. Papanin RAS, 2013. 226 p.
- Kochetkova A.I., Baranova M.S., Filippov O.V., Bryzgalina E.S., Kurashov E.A. Floristic composition of phytocenoses of abrasion-accumulative jumpers of the Volgograd reservoir lake section. *Problems of sustainable development and ecological and economics regional security*. XV All-Russian scientific and practical conf., Volzhsky, 9–10 April 2020. Volgograd: Sphere Publ., 2020, pp. 64–75. (In Russ.).
- Krylenko V.V., Krylenko M.V. Researching of the significance and interrelationships of natural factors in the formation of the granulometric composition of sediments and the relief of the accumulative coastal forms of the Black Sea. *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 669–675. (In Russ.).
- Leont'ev O.K. *Osnovy geomorfologii morskikh beregov* [Foundations of Geomorphology of Sea Coasts]. Moscow: Moscow University Press., 1961. 418 p.
- Milanovskii E.V. *Ocherk geologii Srednego i Nizhnego Povolzh'ya* [The Essay of the Geology of the Middle and Lower Volga]. Moscow-Leningrad: State scientific and technical publishing house of oil and mining fuel literature Publ., 1940. 303 p.
- Myasnikova N.A., Potahin M.S. Granulometric composition of bottom sediments of Torosyarvi lake (White sea basin). *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser.: Geogr. Geoekol.*, 2021, no. 1, pp. 45–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/geo.2021.1/3255>
- Nazarov N.N., Tyunyatkin D.G., Frolova I.V., Cherepanov A.V. Morpholithogenesis in the zone of alongshore sediment transport in the Kama reservoir (Article 2. Sediments). *Geogr. Vestn.*, 2013, no. 2 (25), pp. 35–39. (In Russ.).
- Ouillon S. Why and how do we study sediment transport? Focus on coastal zones and ongoing methods. *Water*, 2018, vol. 10 (4), № 390. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/390/htm> (accessed: 10.02.2020). <https://doi.org/10.3390/w10040390>
- Pettidzhon F. Dzh. *Osadochnye porody* [Sedimentary Rocks]. Moscow: Nedra Publ., 1981. 751 p.
- Shamov G.I. *Rechnye nanosy* [River Sediments]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1959. 380 p.
- Sidorenko A.V. *Geologiya SSSR. Tom XI Povolzh'e i Prikam'e. Chast' 1 Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. Tom XI Volga Region and Kama Region. Part 1

- Geological Description]. Moscow: Nedra Publ., 1967. 605 p.
- Vendrov S.L. About the change in the relief of the Tsimlyansk reservoir coastal zone. *Morskoi i Rechnoi Flot*, 1953, no. 5, pp. 28–34. (In Russ.).
- Zaharov A.V., Alekseev I.A. Socio-ecological problems of the Cheboksary reservoir. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2012, no. 5, pp. 90–101. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2012-5-90-101>
- Zakonnov V.V., Zakonnova A.V., Tsvetkov A.I., Sherysheva N.G. Hydrodynamic processes and their role in the formation of bottom sediments of the reservoirs of the Volga-Kama cascade. *Tr. IBVV Akad. Nauk*, 2018, no. 81 (84), pp. 35–46. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24411/0320-3557-2018-1-0004>
- Zhuk E., Khaliulin A., Krylenko M., Krylenko V., Zodiatis G., Nikolaidis M., Nikolaidis A. Including granulometric sediment coastal data composition into the Black Sea GIS. *Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering: 5*, 20–23 March 2017. Paphos, 2017. 104440.
<https://doi.org/10.1117/12.2279083>
- Zubenko F.S. Coasts of the Kuibyshev reservoir. In *Berega Kuibyshevskogo vodokhranilishcha* [Coasts of the Kuibyshev Reservoir]. Moscow–Leningrad: Akad. Nauk SSR Publ., 1962, pp. 154–188.