

Гидрологические исследования

УДК 556.55(045)

И.А. Беляева, В.Г. Калинин

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА КАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В ходе совместной с ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина экспедиции 2022 г. выполнен отбор грунтовых колонок трубкой ГОИН в 13 точках по длине водохранилища. Проведены измерения общей толщины донных отложений и гранулометрический анализ отобранных проб. Наибольшие высоты грунтовых колонок (0,8-1,1 м) зафиксированы в самой широкой части водохранилища – между Иньвинским и Косьвинским заливами. Наименьшие (0,5 м) – в более узких участках. Выявлено, что гидродинамические условия в разных частях водохранилища оказывают влияние на высоту грунтовых колонок и гранулометрический состав проб грунта дна. Так, для центральной части водохранилища с наименьшими скоростями течения характерно наличие большого количества частиц малой крупности. В узких проточных участках водохранилища преобладают крупные частицы пыли и песка диаметром 0,01-0,1 мм и 0,1-1,0 мм соответственно. На участках с наибольшими скоростями течения встречаются частицы гравия, диаметром до 5 мм. Таким образом, выявлены закономерности пространственного распределения мощности донных отложений в различных частях водохранилища, а также увеличения плотности наносов от верхнего слоя к нижнему.

Ключевые слова: донные отложения, наносы, грунтовые колонки, гранулометрический анализ, Камское водохранилище.

DOI: 10.35634/2412-9518-2024-34-1-75-84

Разнообразие условий формирования твердого стока с территории водосбора крупных водных объектов и разнонаправленное влияние гидродинамической составляющей сработки водохранилищ на отдельные части акватории обуславливают неравномерность гранулометрического состава в донных отложениях водоема [1]. Заиление и занесение водохранилищ оказывает существенное влияние на уменьшение их регулирующей емкости и своевременность проведения водохозяйственных мероприятий [2]. Поэтому регулярный отбор проб донных отложений водохранилища является важным условием для определения динамики изменения мощности накопления наносов как на различных морфометрических участках, так и в различных морфологических зонах водоема.

Исследованию пространственно-временных закономерностей распределения частиц донных отложений различной крупности посвящены работы [2–6]. М.В. Шмаковой [2] выявлены пространственно-временные закономерности заиления озера Неро и Сестрорецкого Разлива речными наносами. В.В. Законновым и др. [3] получены среднегодовые величины накопления наносов разных типов на Волгоградском водохранилище по результатам грунтовых съемок, а также составлена карта донных отложений с количественными показателями грунтового комплекса (площадь, средняя толщина различных типов донных отложений, объем, масса, среднегодовая интенсивность).

Н.Н. Назаровым и др. [4] выявлено, что гранулометрический и минералогический состав наносов, размеры и объем аккумулятивных тел, формирующихся в определенных (фиксированных) участках береговой зоны водохранилищ, непостоянны и зависят от комбинации временных факторов-условий предшествующего периода – уровня режима, скорости, направления и продолжительности ветра, а также образования природных или искусственных «непропусков» наносов. С.Р. Чаловым и В.А. Ефимовым [5] отмечено увеличение содержания мелких частиц при увеличении размера рек и переходе от горных и полугорных к равнинным участкам, что обусловлено снижением скоростей течения и транспортирующей способностью потока.

В работе Е. Szarek-Gwiazda, I. Sadowska [6] определена взаимосвязь между фракциями частиц наносов, содержанием органического вещества и глубиной участка водохранилища на примере Добчицкого водохранилища (южная Польша). Авторами представлена характеристика структуры различных типов донных отложений в разных морфологических зонах водохранилища.

Одним из основных методов изучения процессов накопления наносов в ложе водохранилища является отбор проб грунта дна. В 1970-х годах прошлого столетия Л.А. Кузнецовой [7] проводились исследования донных отложений на Камском водохранилище, и выполнен их качественный и количественный анализ. В среднем по участкам и крупным заливам Камского водохранилища с помощью грунтовой трубки были зафиксированы вторичные отложения мощностью 20-25 см. В центральной озеровидной части отмечены отложения бурого и торфянистого ила с остатками отложившейся древесины. Это связано с тем, что участок левобережья до затопления представлял собой сплошной болотный массив. В русловой части в составе грунтов преобладал серый и темно-серый ил, образованию которого предшествовала предварительная сортировка частиц по крупности. Ближе к левому берегу отмечено наличие торфянистого ила [7].

Аналогичные исследования на Камском водохранилище выполнены Н.Н. Назаровым [8] в период ледостава 2005-2007 гг. Отмечено, что толщина вторичных отложений в старом русле р. Камы на протяжении участка от устьев рр. Иньвы и Косьвы до Пермского гидроузла достигала 1 м и более. Также Н.Н. Назаровым [8] выявлены общие закономерности в распределении донных отложений в акваториях крупных равнинных водоемов:

- взмучивание и трансседиментация, сортируя привнесенный или сформировавшийся в водоемах материал, перемещают его тонкодисперсную часть (иловые частицы) в глубоководные участки;
- для крупных равнинных водохранилищ характерно чередование участков распространения размытых и трансформированных почв, залегания песков различной степени заиления и илов разной степени дисперсности от верховьев к плотине и от береговых и островных отмелей к затопленному руслу.

В 2016 г. для оценки влияния гидродинамических процессов ветровых и стоковых течений на формирование донных осадков в системе крупных равнинных водохранилищ Волжско-Камского каскада сотрудниками ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина была выполнена грунтовая съемка, по результатам которой выявлена тесная зависимость среднего диаметра частиц от средней скорости течения. Так, при повышенных скоростях происходит сортировка осадков по крупности, а при низких скоростях течения – создаются условия для накопления тонкодисперсных фракций с повышенными сорбционными свойствами [9].

Целью настоящего исследования является выявление закономерностей пространственного распределения мощности донных отложений на Камском водохранилище.

Для реализации поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- выбор местоположения точек для отбора грунтовых колонок в различных по морфометрическим особенностям участках водохранилища;
- характеристика отобранных проб по цвету, толщине и структуре донных отложений;
- анализ мощности грунтовых колонок в разных частях водохранилища.

Материалы и методы исследования

В рамках совместной с ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина экспедиции, организованной в сентябре 2022 г. на научно-исследовательском судне «Академик Топчиев», выполнены исследования донных отложений (толщины, состава и пространственного распределения). Отбор грунтовых колонок проводился в 13 точках по длине Камского водохранилища. Местоположение точек отбора проб выбиралось с учетом изменений гидродинамических условий участков водохранилища, связанных с различием их морфометрических особенностей (рис. 1). Работы выполнялись с помощью стандартной гравитационной грунтовой трубки ГОИН длиной 1,0 м и объемом 1700 см³, которая позволяет отбирать пробы грунта с ненарушенной структурой.

На основе визуальной оценки грунтовых колонок выделялись разнородные слои по цвету, плотности, структуре, наличию растительных остатков. Далее проводились измерения общей толщины слоя вторичных отложений и фотографирование. Из всех выделяющихся слоев каждой колонки отбирались образцы для дальнейшего анализа их гранулометрического состава.

Следует отметить, что грунтовая трубка ГОИН при свободном падении в воде не заходит в донные отложения, представленные песками, а проникает лишь в грунты мягкой структуры (илы). По этой причине, а также в связи с ограниченной длиной трубки, определение полной толщины вторичных отложений не представляется возможным. Так, в точке 10 отобрать пробу трубкой ГОИН не уда-

лось, т.к. она находилась в старом русле р. Камы, которое, по всей видимости, сложено тяжелыми и плотными песчанистыми отложениями.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим особенности распределения толщины и структуры донных отложений по длине Камского водохранилища. Во всех отобранных пробах плотность наносов увеличивалась от верхнего слоя к нижнему.

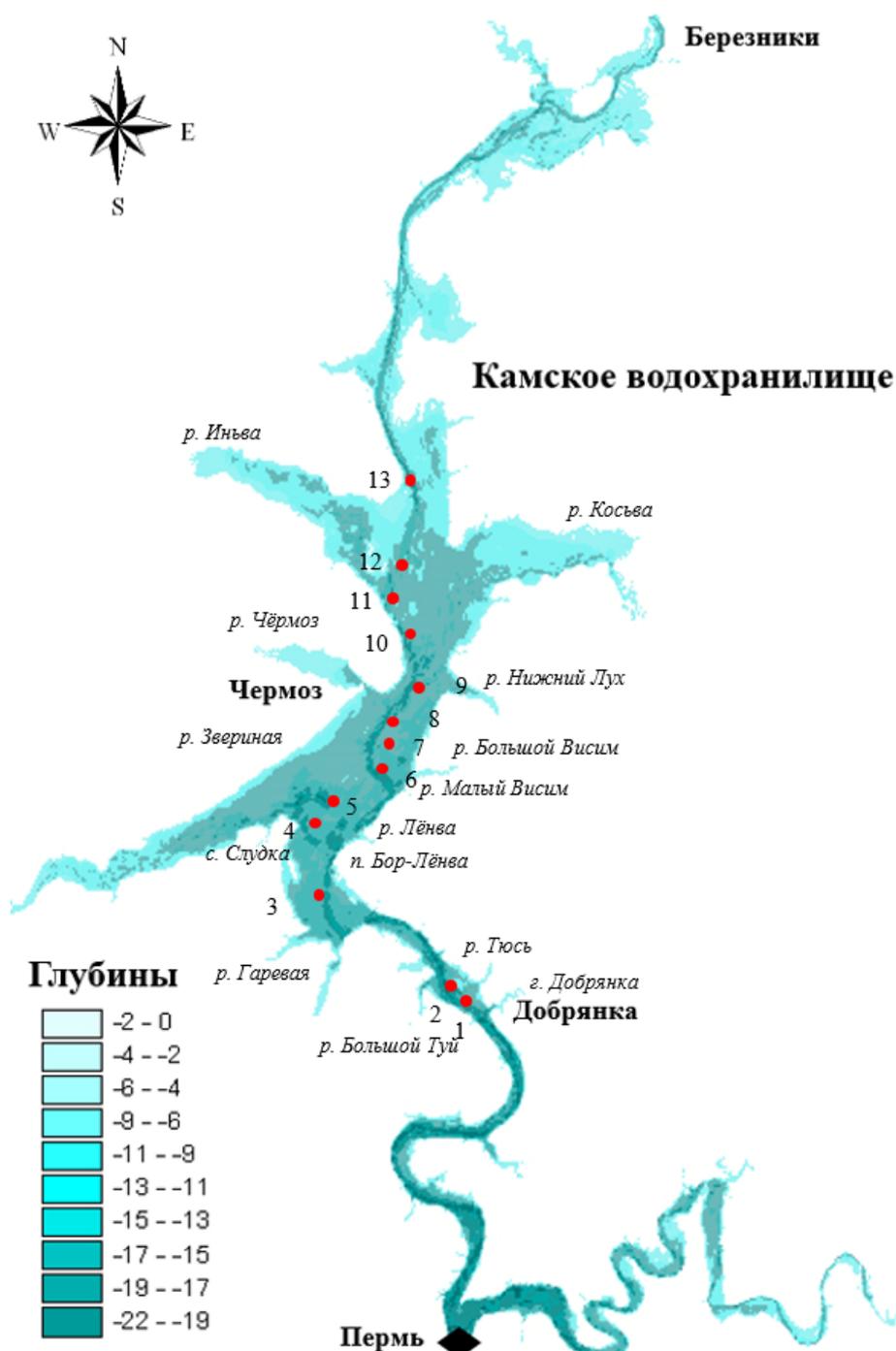


Рис. 1. Расположение точек отбора грунтовых колонок

Точки 1 и 2 территориально относятся к незначительному расширению водохранилища в районе г. Добрянки, напротив впадения притоков рек Большой Туй и Тюсь (рис. 1). Средняя высота отобран-

ных грунтовых колонок составила 53 см (рис. 2). Наносы представляли собой серый, серо-коричневый и коричневый илы с наличием растительных и глинистых частиц. По гранулометрическому составу пробы в точках 1 и 2 в среднем на 50 % состоят из пыли диаметром 0,1–0,01 мм преимущественно в нижних слоях, на 30–50 % из ила диаметром 0,01–0,001 мм. Ближе к верхнему горизонту увеличивается содержание песка в пробе, в точке 1 – до 22 %, в точке 2 – до 7 %. Также в пробе присутствует незначительное количество глины в верхнем слое и гравия в нижнем слое (рис. 2). Гравий характеризуется большей гидравлической крупностью, что объясняет его присутствие в нижних слоях.

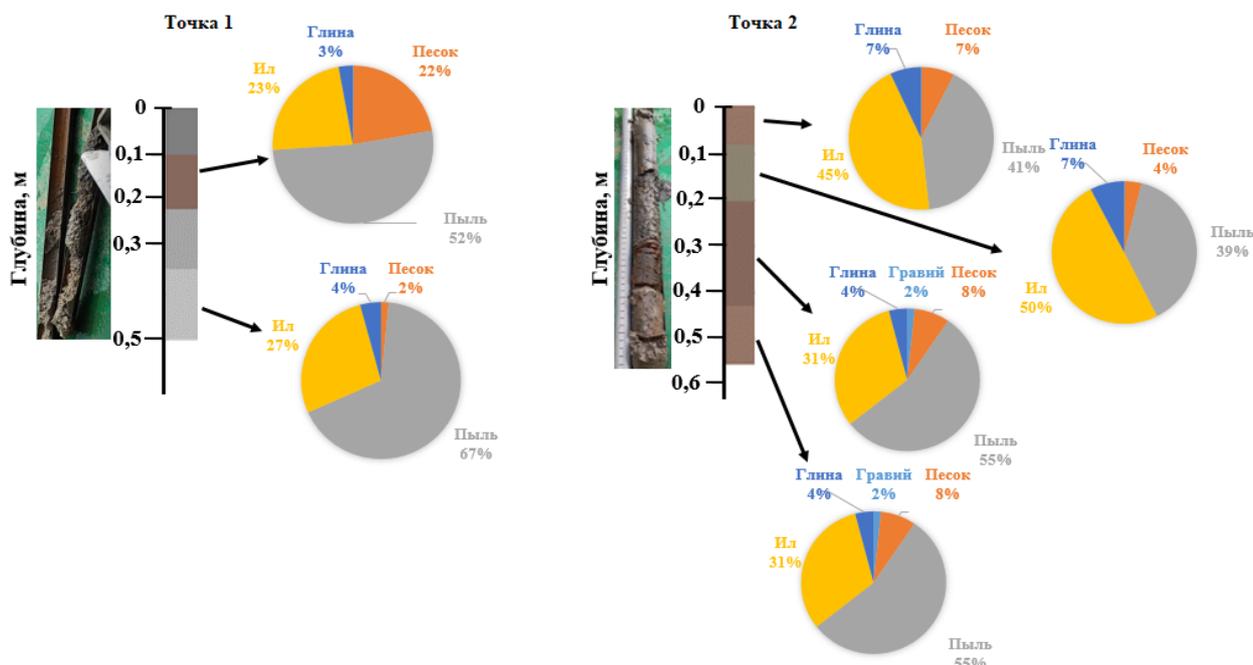


Рис. 2. Гранулометрический состав проб, отобранных в точках 1 и 2

Точка 3 расположена напротив впадения р. Гаревая, ближе к старому руслу р. Камы (рис. 1). Высота отобранной колонки составила 55 см (рис. 3). На 20–43 см высоты от поверхности слоя наносов отмечено наличие коричневого ила с остатками органики. По гранулометрическому составу пробы в точках 3 и 2 практически совпадают. Наличие гравия в пробе точки 3 связано с местоположением пробы ближе к старому затопленному руслу р. Камы. Бóльший диаметр частиц донных отложений обусловлен гидродинамическими условиями этой морфологической зоны, в частности повышенными скоростями течения в русле (рис. 3).

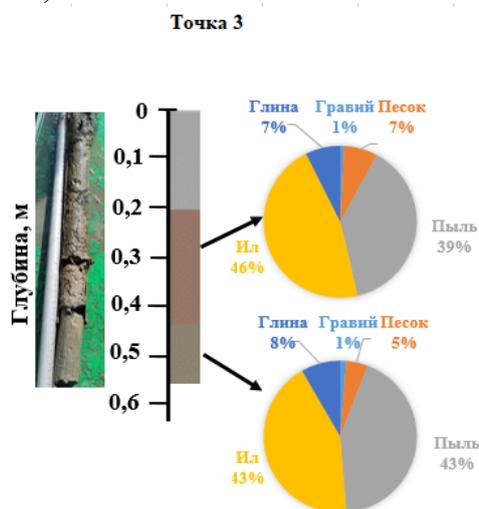


Рис. 3. Гранулометрический состав пробы, отобранной в точке 3

Точки 4–8 расположены в озеровидной части Камского водохранилища от с. Слудка до г. Чермоз (рис. 1). Донные отложения в этом районе представлены преимущественно серыми и темно-серыми илами. Средняя высота колонки составила 50 см. Наибольшая высота отмечена в озеровидной части водохранилища в точке 4 – 71 см (рис. 4). Увеличение высоты отобранной колонки и наличие большого количества частиц меньшей крупности обусловлено уменьшением скоростей течения в связи с изменением гидродинамических условий в этой части водохранилища. По гранулометрическому составу в точке 4 диаметр частиц донных отложений в среднем увеличивался от верхнего слоя колонки к нижнему. Так, легкие частицы ила (0,01–0,001 мм) и глины (<0,001 мм) преимущественно сосредоточены в слое 0–0,25 м. В нижнем слое отмечено увеличение более крупных частиц пыли (0,1–0,01 мм) до 69 % от объема пробы.

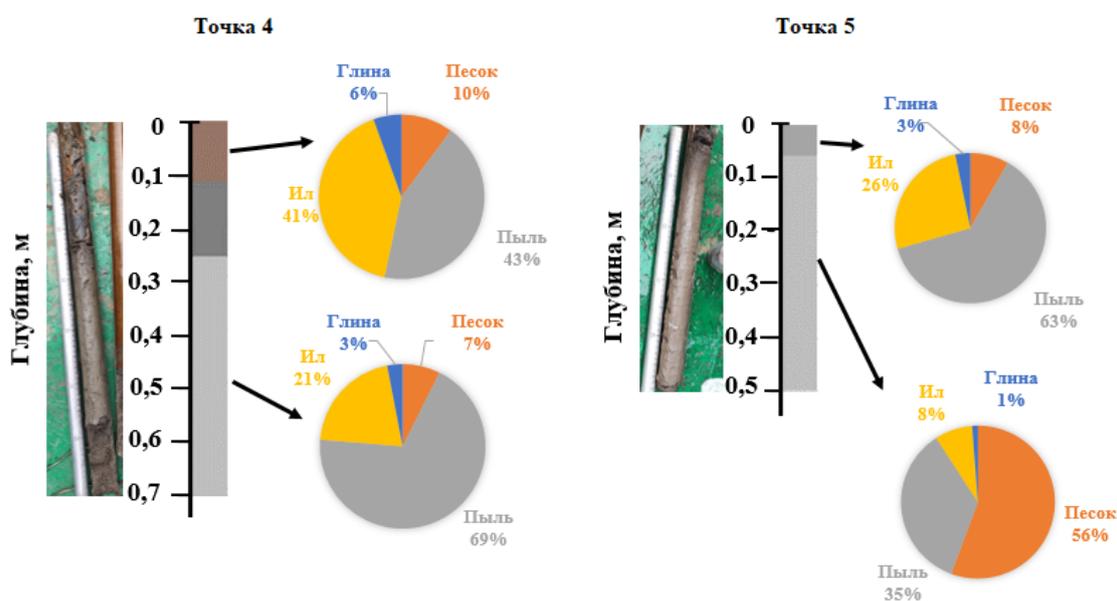


Рис. 4. Гранулометрический состав проб, отобранных в точках 4 и 5

В точке 6 ил приобретает темно-серый, местами черный оттенок (рис. 5). Точка находится ближе к левому берегу напротив впадения р. Большой Висим. Такой цвет донных отложений может быть связан с большими площадями затопленных торфяников в данном районе.

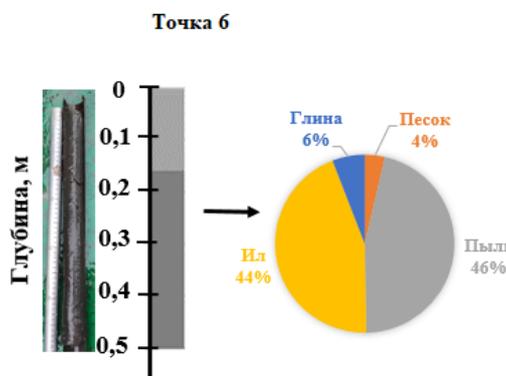


Рис. 5. Гранулометрический состав пробы, отобранной в точке 6

В точках 5 (рис. 4), 7 и 8 (рис. 6) пробы грунта дна с высотой колонок 40–50 см визуально схожи, представляли собой илстые отложения светло-серого цвета. В поверхностном слое отмечалось наличие личинок хирономид. Значительное содержание песка в пробах, отобранных в точках 5 (56 %) и 7 (15 %), обусловлено близким местоположением этих точек к старому руслу р. Камы.

Точки 6 и 8 схожи по гранулометрическому составу. Пробы преимущественно содержат частицы пыли (0,1–0,01 мм) и ила (0,01–0,001 мм).

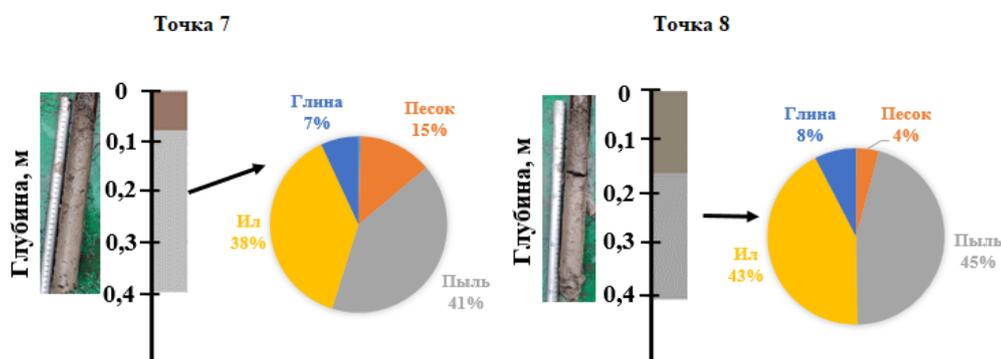


Рис. 6. Гранулометрический состав проб, отобранных в точках 7-8

Точка 9 находилась напротив залива р. Нижний Лух (рис. 1). Высота отобранной колонки грунта составила 55 см (рис. 7). В верхнем слое донные отложения представлены коричневым илом с частицами глины, которыми сложены берега вдоль водохранилища в данном районе. Согласно данным по берегоразрушению в г. Чермоз, расположенном на правом берегу Камского водохранилища, берега сложены четвертичными суглинками. Выше по течению встречаются берега, представленные красноцветными формациями [10].

Гранулометрический анализ показал увеличение содержания более крупных частиц пыли и песка в нижнем слое по сравнению с верхним, а также незначительное количество гравия (1 %) в среднем слое. Содержание мелких частиц ила уменьшается от верхнего слоя к нижнему.

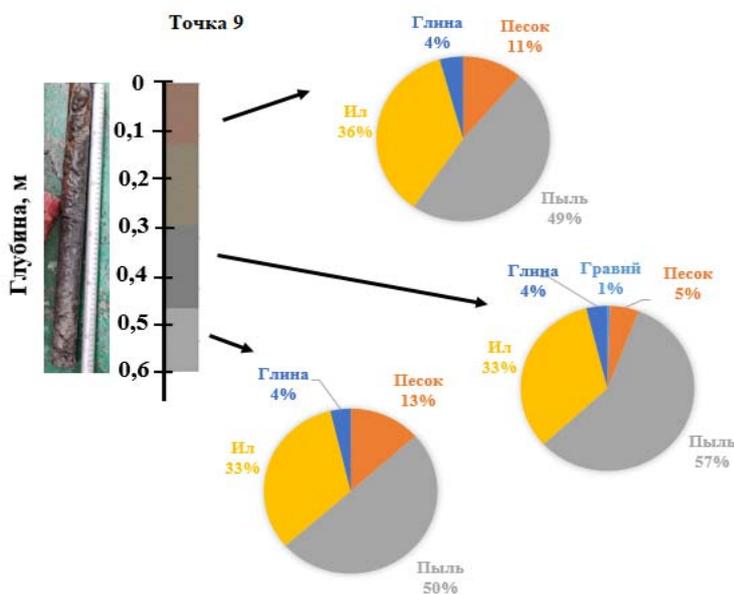


Рис. 7. Гранулометрический состав пробы, отобранной в точке 9

Точки 11 и 12 расположены между двумя плесами: Иньвинским и Косьвинским в самой широкой части Камского водохранилища (рис. 1). Наибольшая высота колонки (113 см) зафиксирована в точке 11 (рис. 8). Вся проба представляла собой темно-серый ил средней плотности. В точке 12 также зафиксирована значительная высота колонки грунта – 84 см (рис. 8). При этом на уровне 77 см отмечен слой, состоящий из органических отложений. В пробе преобладали темно-серые илы однородной структуры средней плотности. По результатам гранулометрического анализа в пробах, отобранных в точках 11 и 12, выделено значительное количество (60–70 %) частиц пыли диаметром 0,1–0,01 мм.

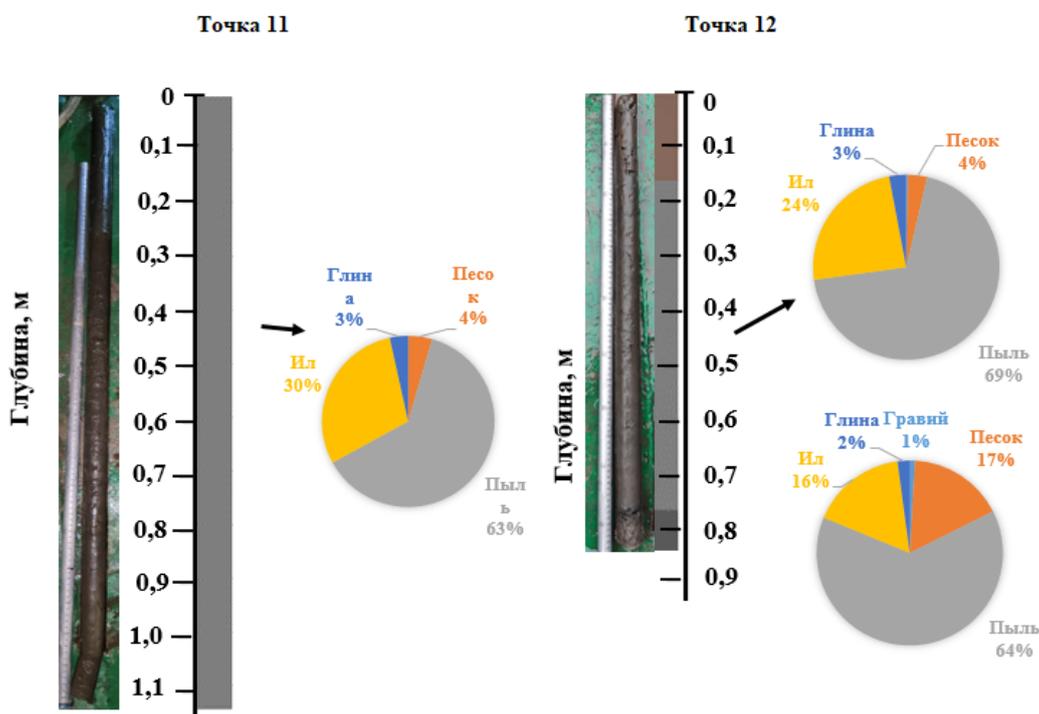


Рис. 8. Гранулометрический состав проб, отобранных в точках 11 и 12

Точка 13 расположена между Иньвинским и Пожвинским заливами (рис. 1). Высота отобранной колонки составила 98 см (рис. 9). В пробе на глубине 76–79 см от поверхности грунта отмечен слой из органики, в котором также присутствовало значительное количество частиц гравия и песка. Донные отложения преимущественно сложены серо-коричневыми илами. Во всех образцах колонки, отобранной в точке 13, зафиксировано большое содержание частиц пыли 68–71%. Следует отметить наличие гравия во всех образцах колонки.

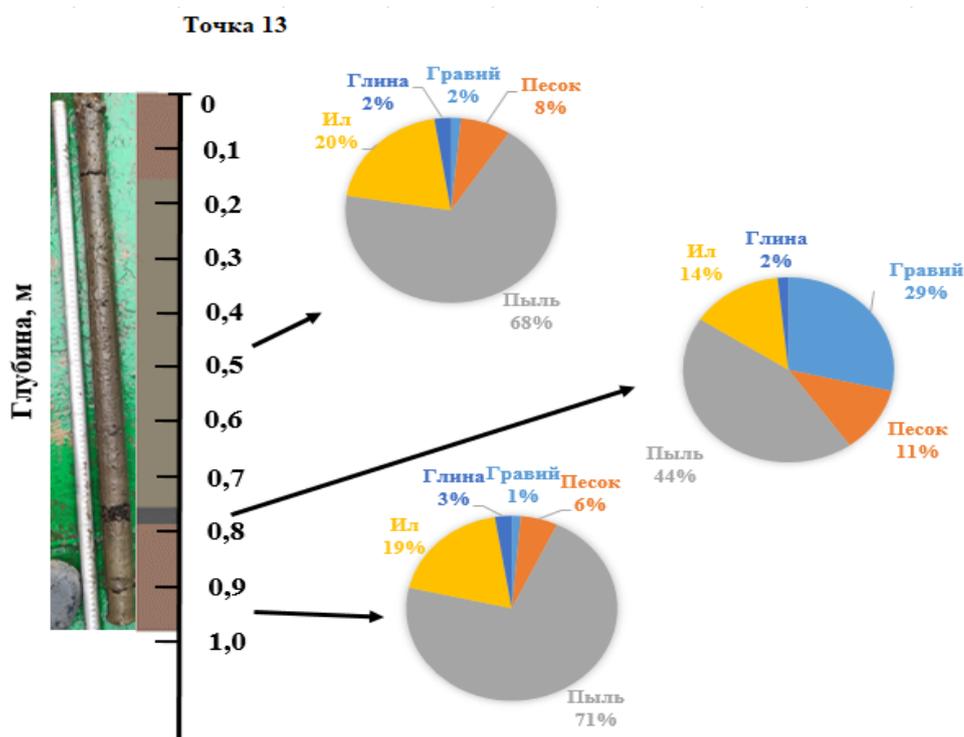


Рис. 9. Гранулометрический состав пробы, отобранной в точке 13

Выводы

1. Мощность отобранных грунтовых колонок тесно связана с гидродинамическими условиями поступления и аккумуляции наносов на разных участках водохранилища, которые определяются их морфометрическими особенностями. Пробы с наибольшей высотой колонки грунта были отобраны в озеровидной части водохранилища в местах впадения крупных притоков рр. Иньвы и Косьвы. Наименьшие значения высоты колонок были зафиксированы в местах сужения водохранилища с наибольшими скоростями течения – на затопленной пойме и вблизи старого русла р. Камы.

2. Во всех отобранных образцах прослеживалось закономерное увеличение плотности донных отложений от верхнего слоя к нижнему. В большинстве проб отсутствовал маркирующий слой, указывающий на достижение отметок первичных почв до заполнения водохранилища, что свидетельствует о большой толщине слоя вторичных отложений и невозможности определения точной высоты слоя наносов.

3. В пробах преобладали серые, темно-серые и коричневые илы, зачастую с однородной структурой. В нижних горизонтах слоев отмечались илы с наличием растительных остатков.

4. Изменение гидродинамических условий в разных частях водохранилища оказывает влияние на гранулометрический состав проб грунта дна. Так, в центральной озеровидной части водохранилища, где скорости течения снижаются, отмечается большое количество частиц меньшей крупности. В поверхностном слое таких колонок преобладают частицы ила и глины диаметром 0,01-0,001 мм и менее 0,001 мм соответственно. В наиболее узких проточных участках водохранилища и в точках, расположенных ближе к зоне старого русла, преобладают крупные частицы пыли и песка диаметром 0,01-0,1 мм и 0,1-1,0 мм соответственно. На участках с наибольшими скоростями течения встречаются частицы гравия, диаметром до 5 мм.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина за помощь в отборе грунтовых колонок на научно-исследовательском судне «Академик Топчиев» и консультирование при описании слоев проб донных отложений. Авторы благодарят Центр коллективного пользования уникальным научным оборудованием ПГНИУ за помощь в проведении гранулометрического анализа полученных проб донных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахуба А.В., Турутина Т.В., Шмакова М.В. Сравнительный анализ донных отложений Черемшанского залива и приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. Т. 24, № 5. С. 51–59.
2. Шмакова М.В. Методология решения геоэкологических задач, связанных с оценкой твердого стока водных объектов: дис... докт. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2020. 312 с.
3. Законнов В.В., Филиппов О.В., Баранова М.С., Кочеткова А.И., Законнова А.В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 8. Формирование берегов и ложа волгоградского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 6–29. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-1
4. Назаров Н.Н., Тюняткин Д.Г., Фролова И.В., Черепанов А.В. Факторы и условия дифференциации наносов в береговой зоне камских водохранилищ // Географический вестник. 2011. №4. С. 4–11.
5. Чалов С.Р., Ефимов В.А. Гранулометрический состав взвешенных наносов: характеристики, классификации, пространственная изменчивость // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 4. С. 91–103.
6. Szarek-Gwiazda E., Sadowska I. Distribution of grain size and organic matter content in sediments of submontane dam reservoir // Environment Protection Engineering. 2010. Т. 36, №. 1. P. 113-124.
7. Кузнецова Л.А. Формирование донных отложений равнинных водохранилищ (на примере Камского водохранилища): дис... канд. геогр. наук. Пермь, 1981. 224 с.
8. Назаров Н.Н. Особенности накопления и свойства иловых отложений на участках распространения гипсовых берегов Камского водохранилища // Географический вестник. 2008. №1. С. 77–87.
9. 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 // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 2018. Вып. 81 (84). С. 35–46.

10. Лепихин А.П. Отчет о выполнении работ «Определение ключевых проблем и целевого состояния бассейна р. Кама (Этап 2)» по Государственному контракту №200/10/08 от 6 октября 2008 г. Разработка СКИОВО бассейна реки Кама. Том 1.

Поступила в редакцию 25.01.2024

Беляева Ирина Алексеевна, начальник отдела водного хозяйства и регулирования водопользования
Камское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов
614000, Россия, г. Пермь, ул. 25-го Октября, 28а
E-mail: irinakoviazina@mail.ru

Калинин Виталий Германович, доктор географических наук, доцент,
заведующий кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов
ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15 (корп. 8)
E-mail: vgkalinin@gmail.com

I.A. Belyaeva, V.G. Kalinin

FEATURES OF THE BOTTOM SEDIMENTS DISTRIBUTION AT THE KAMA RESERVOIR

DOI: 10.35634/2412-9518-2024-34-1-75-84

The selection of soil cores using a GOIN tube at 13 points of the Kama Reservoir was carried out during an expedition in 2022 together with the IBWV RAS. I.D. Papanina. Measurements of the total thickness of bottom sediments and granulometric analysis of the selected samples were carried out. The highest values of soil columns (0.8-1.1 m) were recorded in the widest part of the reservoir - between the Invinsky and Kosvinsky bays. The lowest values (0.5 m) were recorded in narrower areas. It was revealed that hydrodynamic conditions in different parts of the reservoir influence the height of the soil columns and the particle size distribution of bottom soil samples. Thus, the central part of the reservoir with the lowest flow velocities is characterized by the presence of a large quantity of small particles. In the narrow flowing areas of the reservoir, large particles of dust and sand with a diameter of 0,01-0,1 mm and 0,1-1,0 mm, respectively, predominate. Gravel particles up to 5 mm in diameter are found in areas with the highest flow velocities.

Keywords: bottom sediments, sediments, soil columns, granulometric analysis, Kama Reservoir.

REFERENCES

1. Rakhuba A.V., Turutina T.V., Shmakova M.V. [Comparative analysis of bottom sediments of the Cheremshansky Bay and the dam reach of the Kuibyshev Reservoir], in *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2022, vol. 24, no. 5, pp. 51-59 (in Russ.).
2. Shmakova M.V. [Methodology for solving geoecological problems related to the assessment of solid runoff of water bodies], Dr. Geography sci. diss., St. Petersburg, 2020, 312 p. (in Russ.).
3. Zakonnov V.V., Filippov O.V., Baranova M.S., Kochetkova A.I., Zakonnova A.V. [Spatial/temporal Transformation of the Sediment Complex in the Volga Reservoirs. Communication 8. Formation of the Volgograd Reservoir banks and bed] in *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]*, 2021, vol. 6, pp. 6-29. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-1 (in Russ.).
4. Nazarov N.N., Tyunyatkin D.G., Frolova I.V., Cherepanov A.V. [Factors and conditions of differentiation of deposits in coastal zone of Kama reservoir] in *Geograficheskiy vestnik [Geographical Bulletin]*, 2011, no. 4, pp. 4-11 (in Russ.).
5. Chalov S.R., Efimov V.A. [Particulate composition of suspended sediments: characteristics, classifications and spatial variability], in *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]*, 2021, no. 4, pp. 91-103 (in Russ.).
6. Szarek-Gwiazda E., Sadowska I. Distribution of grain size and organic matter content in sediments of submontane dam reservoir, in *Environment Protection Engineering*, 2010, vol. 36, no. 1, pp. 113-124.
7. Kuznetsova L.A. [Formation of bottom sediments of lowland reservoirs (using the example of the Kama Reservoir)], Cand. Geography sci. diss., Perm, 1981, 224 p. (in Russ.).
8. Nazarov N.N. *Osobennosti nakopleniya i svoystva ilovykh otlozheniy na uchastkakh rasprostraneniya gipsovykh beregov Kamskogo vodokhranilishcha* [Peculiarities of accumulation and properties of silt deposits in areas of distribution of gypsum banks of the Kama Reservoir], in *Geograficheskiy vestnik*, 2008, no. 1, pp. 77-87 (in Russ.).

9. Zakonnov V.V., Zakonnova A.V., Tsvetkov A.I., Sherysheva N.G. [Hydrodynamic processes and their role in the formation of bottom sediments of reservoirs of the Volga-Kama cascade], in Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN, 2018, iss. 81 (84), pp. 35-46 (in Russ.).
10. Lepikhin A.P. Otchet o vypolnenii rabot «Opreделение klyuchevykh problem i tselevogo sostoyaniya basseyna r. Kama (Etap 2)» po Gosudarstvennomu kontraktu №200/10/08 ot 6 oktyabrya 2008 g. Razrabotka SKIOVO basseyna reki Kama Tom 1 [Report on the implementation of work “Identification of the main problems and target state of the river basin“. Kama (Stage 2) under State Contract No. 200/10/08 dated October 6, 2008. Development of SKIOVO for the Kama River Basin], Vol. 1.

Received 25.01.2024

Belyaeva I.A., Head of the Department of Water Management and Water Use Regulation
Kama Basin Water Administration of the Federal Agency of Water Resources
25-go Oktyabrya st., 28a, Perm, Russia, 614000
E-mail: irinakoviazina@mail.ru

Kalinin V.G., Doctor of Geography, Associate Professor,
Head of the Department of Hydrology and Water Resources Protection
Perm State University
Bukireva st., 15/8, Perm, Russia, 614990
E-mail: vgkalinin@gmail.com